

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, MANAGUA
FACULTAD REGIONAL MULTIDISCIPLINARIA MATAGALPA
UNAN FAREM MATAGALPA



**MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL Y DE
SISTEMAS**

**Evaluación del proceso de secado de café pergamino en Beneficio Sajonia S.A. Matagalpa
2012.**

Autor:

Br. José Javier Moraga Castro

Tutora:

M.sc Virginia López Orozco

Asesores:

M.sc René Martín Miranda Urbina

PhD. Sergio Sánchez Delgado

Enero 2013

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO.....	i
DEDICATORIA.....	ii
OPINIÓN DE LA TUTORA.....	iii
RESUMEN.....	iv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	4
III. JUSTIFICACIÓN	6
IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
4.1 Problema general.....	7
4.2 Problemas específicos	7
V. OBJETIVOS	8
5.1 Objetivo General:	8
5.2 Objetivos Específicos:.....	8
VI. HIPÓTESIS	9
VII. MARCO TEÓRICO.....	10
7.1 Definición de Café	10
7.2 Origen del Café.....	11
7.3 Generalidades del Café	12
7.4 Clasificación del Café	13
7.4.1 Coffea arábica (variedades árabes):.....	13
7.4.2 Coffea canephora (Variedades Robustas):	13
7.4.3 Coffea Libérica.....	14
7.5 Propiedades Físicas del Café	14
7.6 Calidad del Café	15
7.7 Beneficiado Húmedo.....	16
7.8 Beneficiado Seco.....	18
7.9 Secado Solar	20
7.10 Contenido de Humedad	21
7.11 Transferencia de calor.....	23
7.11.1 Conducción.....	23
7.11.2 Convección.....	24

7.11.3 Radiación.....	24
7.12 Radiación solar.....	25
7.12.1 Irradiancia (potencia de la radiación):.....	25
7.12.2 Irradiación (energía de la radiación):.....	25
7.13Clasificación de los secaderos.....	26
7.14 Tipología de secaderos solares.....	26
7.14.1 Sistemas solares activos o de convección forzada.....	27
7.14.2 Sistemas solares pasivos o de convección natural.....	28
7.15 Secadores solares activos.....	28
7.15.1 Secaderos solares activo de tipo integral:.....	29
7.15.2 Secaderos solares activos de tipo distribuido:.....	29
7.15.3Secaderos solares activos de tipo mixto:.....	29
7.16 Secaderos solares pasivos.....	30
7.16.1 Secaderos solares pasivos de tipo integral:.....	30
7.16.2 Secaderos solares pasivos de tipo distribuido:.....	31
7.16.3 Secaderos solares pasivos de tipo mixto:.....	32
7.17 Captadores solares de aire para aplicaciones de secado.....	33
7.18 Tipología de captadores solares.....	34
7.18.1 Captadores solares de aire de placa plana sin cubierta.....	34
7.18.2 Captadores solares de aire de placa plana con cubierta.....	35
7.18.2.1 Captador de placa plana con cubierta y paso de aire superior.....	36
7.18.2.2 Captador de placa plana con cubierta y de paso de aire inferior.....	37
7.18.3 Captador de placa suspendida.....	39
7.18.4 Captador de placa perforada.....	41
7.19Parámetros de evaluación de secaderos solares.....	42
7.20Parámetros físicos del secadero.....	44
7.21 Tiempo de secado.....	45
7.22Caudal másico del aire.....	45
7.23Secado directo al sol.....	46
7.24 Influencia del espesor del producto.....	47
7.25 Beneficio Sajonia SA.....	48
7.25.1 Proceso de secado en el Beneficio.....	48
7.25.2 Recurso Humano.....	49

7.25.3 Instrumentos y materiales utilizados	50
7.25.4 Producción Anual.....	50
7.25.5 Costos de producción.....	50
7.25.6 Eficiencia del proceso de secado actual.....	51
VIII. DISEÑO METODOLÓGICO	52
8.1 Ubicación geográfica	52
8.2 Tipo de investigación	52
8.3 Variables	52
8.4 Técnicas de investigación	53
8.5 Procesamiento de datos.....	53
IX. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	54
9.1 Recepción del café en Beneficio Sajonia S.A.	54
9.2 Clasificación del café.	55
9.3 Análisis del producto por parte del Departamento de Control de Calidad.	56
9.4 Estibado en recepción.	57
9.5 Secado al sol.	58
9.6 Secado en patio de concreto o pilas.	60
9.7 Secado en telones de polietileno negro o plástico negro.	61
9.8 Secado en cajilla de madera y cedazo o zaranda.	62
9.9 Muestreo para determinar humedad.....	63
9.10 Almacenamiento del café en bodegas.....	64
9.11 Temperatura.....	65
9.12 Humedad Relativa del ambiente	66
9.13 Espesor del producto.....	67
9.14 Tiempo de secado.....	67
9.15 Radiacion solar.....	68
9.16 Prototipo de secadero.....	70
X. CONCLUSIONES	75
XI. RECOMENDACIONES.....	76
XII. BIBLIOGRAFÍA.....	77
ANEXOS.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Capacidad eléctrica instalada en Nicaragua.....	2
Figura 2: Estructura interna del grano de café	10
Figura 3: Café pergamino.....	14
Figura 4: Flujos de proceso de Beneficiado.....	16
Figura 5: Transferencia de Calor y masa en el secado solar.....	21
Figura 6: Tipología de sistemas de secado solar.....	27
Figura 7: Clasificación de secaderos solares.....	33
Figura 8: Captador solar de aire de placa plana sin cubierta	35
Figura 9: Captador solar de aire de placa plana con cubierta de paso superior.....	36
Figura 10: Captador solar de aire de placa plana con cubierta de paso inferior	37
Figura 11: Captador solar de aire de placa plana con aletas	38
Figura 12: Captador solar de aire de placa plana corrugada en V	38
Figura 13: Captador solar de aire de placa plana de simple paso	39
Figura 14: Captador solar de aire de placa plana suspendida de doble paso	40
Figura 15: Captador solar de aire de placa plana perforada.....	41
Figura 16: Principio de trabajo del SDS.....	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparación entre los secaderos solares pasivos integral y distribuido.....	32
Tabla 2: Desventajas del Secado Directo al Sol.....	47

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Estado del café	54
Gráfico 2: Clasificación del café en base a su calidad	55
Gráfico 3: café recibido en base a su calidad en Sajonia S.A.	56
Gráfico 4: Procesos simultáneos en el secado	59
Gráfico 5: secado de café en pilas de concreto	60
Gráfico 6: Secado de café en telones de plástico negro.	61
Gráfico 7: Secado de café en cajillas de madera.	62
Gráfico 8: Capacidad de los sistemas de secado.....	62
Gráfico 9: Determinador de humedad	63
Gráfico 10: Temperatura media en Matagalpa.	65
Gráfico 12: Humedad relativa en Matagalpa.	66
Gráfico 13: Radiación solar media en Matagalpa.....	68
Gráfico 14: Diseño del secadero solar.....	70

AGRADECIMIENTO

Primeramente agradezco grandemente a Dios por su misericordia, por guiarme cada día de mi vida, y permitirme culminar mis estudios universitarios.

Agradezco a mis padres y hermanas, quienes siempre han sido un canal de bendición, y motivación en todas las áreas de mi vida.

Agradezco en gran manera a mi tutora MSc. Virginia López Orozco la cual me motivó a emprender mi viaje a España y ha sido un apoyo indispensable en cada etapa desarrollada en el presente trabajo.

De manera muy especial a PhD. Sergio Sánchez Delgado por asesorarme durante la realización de este trabajo en la UC3M.

A PhD. Ulpiano Ruiz Rivas Hernando y a MSc. René Miranda Urbina quienes han dirigido y organizado el desarrollo del presente trabajo investigativo, además han sido de gran ayuda en todo momento.

A la Universidad Carlos III de Madrid (UC3M) la cual ha financiado la realización de este trabajo investigativo, brindándome la oportunidad de viajar a Madrid y obtener conocimientos en la materia de energías renovables.

De igual manera agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua) por elegirme como estudiante de intercambio y poder realizar este trabajo investigativo.

Al Lic. Javier laguna quien ha sido un gran apoyo para la realización de este trabajo, siendo brindándome su ayuda indispensablemente.

Un agradecimiento muy especial a todos mis profesores de la UNAN-FAREM Matagalpa los cuales con dedicación me capacitaron durante el transcurso de mi carrera.

Agradezco a la primera iglesia bautista de Matagalpa por sus oraciones mientras estuve fuera del país, y a lo largo del desarrollo de mi carrera universitaria.

Br. José Javier Moraga Castro

DEDICATORIA

A los que aman a Dios todas las cosas les ayudan a bien. Rom. 8:28

Dedico este trabajo:

A Dios:

Por guiarme en cada paso que doy, todo se lo debo a él.

A mis padres:

Rev. Javier Moraga y Azucena Castro, quienes me han guiado por un buen camino, enseñándome valores, principios y sobretodo temor a Dios. Siendo un apoyo incondicional, con sus consejos y su motivación a hacer lo mejor siempre.

A mis hermanas:

Lic. Alondra Moraga y Azalea Moraga, quienes han sido mis amigas y mis consejeras, me han brindado apoyo incondicional.

Br. José Javier Moraga Castro.

OPINION DE LA TUTORA.

El Br. José Javier Moraga Castro ha concluido la Monografía para optar al título de Ingeniería Industrial y de Sistemas con el tema: **“Evaluación del proceso de secado de café pergamino en Beneficio Sajonia S.A. Matagalpa 2012.**

Con este trabajo el bachiller Moraga, está fortaleciendo científicamente los conocimientos sobre el aprovechamiento de la Energía Solar como una alternativa a la producción agrícola de la región.

El trabajo ha sido el resultado del esfuerzo y empeño de su autor, atendiendo siempre a corregir las observaciones de la tutora en función de mejorar la calidad científica del trabajo.

Como tutora de la investigación, considero que cumple con los requisitos establecidos en la normativa de la UNAN Managua.

Deseándoles Éxito en sus funciones futuras.

Virginia López Orozco.

Tutora

RESUMEN

El presente trabajo investigativo fue realizado en beneficio Sajonia S.A. ubicado en el Km 117 carretera Managua/Matagalpa. Situado en la comunidad de Quebrada Onda, la cual se encuentra en el municipio de Matagalpa, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el proceso de secado de café pergamino actual en el Beneficio Sajonia S.A. para alcanzar dicho objetivo estudiaron las diferentes etapas en el proceso de secado, desde la recepción de café hasta su almacenaje cuando posee el porcentaje de humedad adecuado, además se estudiaron los diferentes métodos de secado actual como son, pilas de concreto, telones de plástico negro y cajillas de madera, se estudiaron las variables que intervienen en el proceso de secado de café pergamino, entre las cuales se encuentra la temperatura media, humedad relativa, radiación solar y flujo másico del aire. También se propone un diseño de secadero solar con una capacidad de 453.6 kg equivalentes a 1000 libras con un sistema activo del modelo integral. La presente investigación es de gran importancia para el beneficio Sajonia como para el país en general ya que el café es una de las bases de la economía de nuestro país, mediante la evaluación del proceso de secado se aportara significativamente al mejoramiento de dicho proceso.

I. INTRODUCCIÓN

El sol es una fuente de energía inagotable, ha brillado en el cielo desde hace unos cinco mil millones de años, y se calcula que brillará por unos seis mil millones de años más. Durante el presente año, el sol arrojará sobre la tierra cuatro mil veces más energía que la que vamos a consumir (Urioste, 2008).

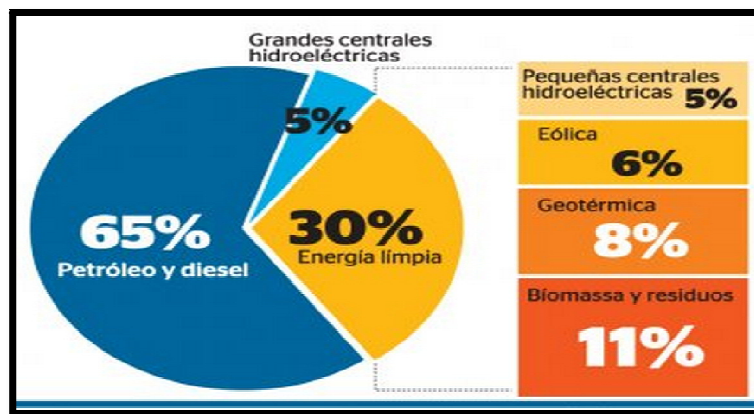
El secado natural ha sido utilizado desde tiempos inmemorables para secar una gran variedad de productos. Sin embargo, para la producción a escala industrial este sistema presenta ciertas limitaciones, necesidades de grandes superficies, elevado coste de mano de obra, dificultades en el control del proceso de secado, etc. Con objeto de aprovechar los beneficios de la fuente solar se han realizado numerosos intentos en los últimos años para el desarrollo de secaderos en productos agrícolas y forestales (Corvolan R., Horn M., & Savaria L., 1995).

Entre las ventajas que presenta el secado solar, la más destacada se basa en la energía que utiliza, es decir, una fuente no contaminante, renovable y que puede utilizarse a escala local.

No obstante, el secado solar entraña un gran inconveniente de carácter periódico de la radiación solar y la variación de la intensidad de la radiación incidente en función del tiempo, siendo ésta una circunstancia que requerirá una estrategia del diseño y control adecuada para posibilitar el secado efectivo. Aun así esta dificultad puede solucionarse por ejemplo con la utilización de alguna fuente auxiliar.

Se ubica a Nicaragua como el segundo país que mayor atractivo ofrece para las inversiones en energía renovable. En los últimos cinco años Nicaragua ha registrado una inversión en energía limpia de 1.13 miles de millones. Tan solo en el 2011 se invirtieron 211 millones de dólares en proyectos de energía eólica y geotermia (Bloomberg, 2012)

Figura 1: Capacidad eléctrica instalada en Nicaragua



Fuente: (Bloomberg New Energy Finance. (INE), 2012)

El secado es un fenómeno caracterizado por la pérdida de humedad, ya sea de un objeto, alimento o grano, la experiencia y estudios preliminares indican que el secado tiene una importancia decisiva en la obtención de un grano comercializable de alta calidad, al secar el grano adecuadamente, se hace fácilmente conservable, al mismo tiempo que se garantiza su buen gusto y aroma.

El secado, además de ser una de las operaciones más costosas del proceso de beneficio del café, enfrenta otra serie de problemas. Entre las afectaciones que pueden surgir en el café que seca el productor de manera tradicional tenemos los daños en los granos por lluvia o exceso de rocío nocturno. Para evitar estos problemas se requiere un trabajo manual adicional de recolección y protección del grano, que implica un aumento del uso de mano de obra (Mejia, 2010).

En la etapa de secado se reduce el contenido de humedad del café pergamino desde aproximadamente 50% hasta el rango de 11% al 13%, con el fin de obtener un producto que pueda almacenarse en las condiciones naturales de las bodegas, conservando su calidad física, sensorial e inocuidad (Gutiérrez, Sanz, Oliveros, & Orozco, 2009).

La insuficiencia de caudal de aire y presión estática, es generalmente la principal falla observada en los secaderos, otro factor que afecta este proceso es el empleo de ventiladores inadecuados, en muchos casos se debe a fallas en el diseño, ya que estos por sus altos costos son fabricados en talleres con modestos recursos, los cuales no emplean una metodología que permita un mejor desempeño (Gutiérrez, 2008).

En la necesidad de mejorar el proceso de secado de café en el Beneficio Sajonia SA. se realiza la presente investigación, dimensionando un secadero solar el cual pueda cubrir las necesidades y capacidades de producción del beneficio.

II. ANTECEDENTES

El café ha sido y es el principal rubro de exportación de Nicaragua. Es el principal generador de actividad en el área rural y su contribución al PIB nacional es significativa. Este rubro ha representado consistentemente cerca del 25 por ciento del valor total de las exportaciones agrícolas del país (un 85% de la producción se vende en el mercado externo y un 15 por ciento se consume localmente). Por lo que su peso en la economía nacional es significativo (Milan, 2004).

El secado es una operación básica que consiste en reducir la humedad de un producto cualquiera, de forma que el producto final presenta unas características muy diferentes a las del inicial, una de las técnicas más antiguas utilizadas para la conservación de alimentos y productos agrícolas es la deshidratación (Mujumdar, 2000).

En Honduras se trabajó con diferentes tipos de estructuras de secadores solares, algunas con las características del secador solar tipo domo, se encontró que secando café pergamino en mantas o cajillas de cedazo el café demoraba 59 horas para lograr un 12% de humedad, en patios de concreto demoraba 57 horas para obtener 12% de humedad por lo que según este estudio resulta más viable utilizar secadores solares para retirar la humedad del café pergamino (Marcala, 2010).

Estudios previos realizados por Blanco Cano (2011) en la UNAN-FAREM Estelí comprueban que el uso de colectores en secaderos, cumplen su objetivo de calentar la corriente y producir flujo de aire, pero debido a que los datos obtenidos en el colector son muy inestables y altamente dependientes de los factores meteorológicos, al momento de diseñar un secadero se debe tomar en cuenta las temperaturas que el producto a secar pueda tolerar.

De manera que para días sin viento con mucha radiación presenta temperaturas mucho mayores que para días nublados y ventosos. Por otro lado, para días calientes pero con mucho viento, dado que éste se cuela en el colector y acelera la corriente, habrá que considerar que la velocidad de secado va a ser rápida, y si el producto a secar presenta una velocidad de difusión muy lenta

comparada con la de evaporación desde la superficie se producirá un gradiente muy fuerte que quebrará la superficie.

Investigaciones previas realizadas por Urbina y Cordero (2011) en la UNAN-FAREM Matagalpa, encontraron que para extraer 1.5Kg de agua de los productos en un deshidratador solar, a una temperatura promedio de 45°C, se requiere un promedio de 28 horas. Otro aspecto relevante en dicha investigación fue que el deshidratador por las noches trabajaba con temperaturas muy bajas y aun así conservando las propiedades del producto.

En el proceso de secado aplicado al café se logra reducir la humedad del grano desde 50-56% hasta el 10-13% de humedad, reduciendo así el riesgo de deterioro ocasionado por el ataque de hongos y de microorganismos (Laguna, 2012).

Según Ariela (2009) los secadores solares, son dispositivos que permiten deshidratar productos. El proceso de secado es una etapa importante para muchos productos que deben ser comercializados o almacenados, sin que se produzca el problema de degradación biológica.

Dada la necesidad de optar por nuevas y mejores tecnologías para el desarrollo tomando en cuenta los aportes y conclusiones antes mencionadas se realiza la presente investigación con el fin de dimensionar un secadero solar aplicado el proceso de secado de café pergamino en Beneficio Sajonia SA.

III. JUSTIFICACIÓN

Nicaragua es un país en desarrollo y una de las bases de su economía se fundamenta en la producción de café oro, el cual se exporta a diferentes mercados internacionales. El proceso de secado desempeña un papel muy importante en la producción de café, ya que en dicho proceso se disminuye el porcentaje de humedad, lo cual permite el almacenamiento en los beneficios sin permitir que este sufra daños y pueda conservar su calidad.

En la actualidad el empleo de energía solar térmica es una necesidad, dado que la energía solar no se acaba y es una fuente no contaminante. El proceso de secado de café en Nicaragua se realiza tradicionalmente ubicando el producto en el suelo sobre telones de plástico negro, pilas de concreto o cajillas de madera, en los cuales todo el producto que ingresa al beneficio con exceso de humedad se exponen de manera directa a los rayos solares durante el tiempo que sea necesario el cual es un poco prolongado, durante esta operación el café es removido periódicamente con el fin de alcanzar un grado de humedad homogéneo, este proceso de movimiento del grano provoca pérdidas debido a la degradación del mismo, además implica que el producto este expuesto a lluvias, polvo, basura e insectos.

Considerando los diferentes inconvenientes que se presentan en el secado de café en beneficios secos, se ha realizado un estudio de necesidades energéticas del beneficio Sajonia SA. en el proceso de secado de café, con el fin de desarrollar una tecnología viable que permita mejorar la eficiencia del proceso y producir un producto de calidad.

La importancia de esta investigación radica en que brindará al Beneficio Sajonia la oportunidad de identificar debilidades en las diferentes etapas del proceso de secado, además, servirá como referencia bibliográfica para futuras líneas de investigación en cuanto a temas relacionados a energías renovables como lo son los secaderos; aportando a la sociedad, estudiantes y universidad en general un conocimiento más profundo que sirva como base para proyectos futuros.

IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El proceso de secado es un eslabón de gran importancia en la cadena de beneficiado seco de café, el cual permite la disminución de humedad en el producto para luego ser almacenado de manera que éste no se deteriore, por lo cual una alternativa que se presenta a esta situación es el uso de secaderos solares.

4.1 Problema general

El proceso de secado de café pergamino en el beneficio Sajonia

¿Cómo se puede disminuir el tiempo de secado de café pergamino en el beneficio Sajonia S.A. de manera que el producto conserve su calidad?

4.2 Problemas específicos

¿Cuál es el proceso de secado de café pergamino actual en Beneficio Sajonia S.A?

¿Qué factores intervienen en el proceso de secado de café pergamino en el Beneficio Sajonia S.A.?

¿Cuales serian los elementos necesarios para diseñar un prototipo de secadero solar aplicado al proceso de secado de café pergamino?

V. OBJETIVOS

5.1 Objetivo General:

Evaluar el proceso de secado de café pergamino en Beneficio Sajonia S.A. Matagalpa 2012.

5.2 Objetivos Específicos:

- Evaluar el proceso de secado de café pergamino actual en Beneficio Sajonia S.A.
- Determinar los diferentes parámetros que intervienen en el proceso de secado de café pergamino.
- Proponer un secadero solar aplicado al proceso de secado de café pergamino en el beneficio Sajonia S.A.

VI. HIPÓTESIS

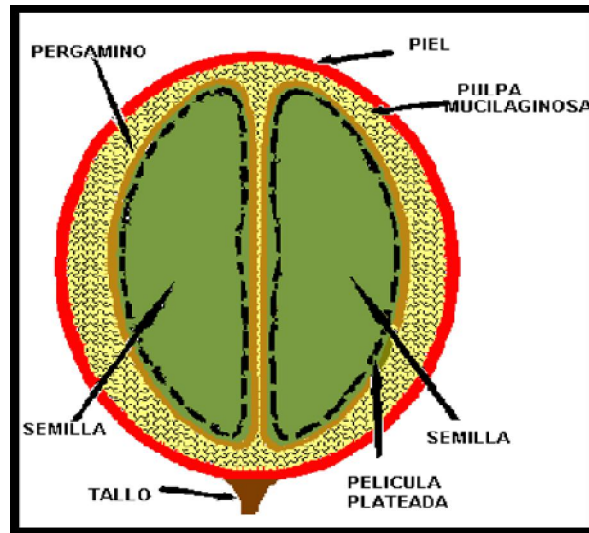
Con el fin de alcanzar los objetivos planteados en el presente estudio, se formulan las siguientes hipótesis de la investigación.

- 1.** El proceso de secado de café pergamino actual en beneficio Sajonia S.A. brinda el manejo que éste requiere.
- 2.** Los parámetros que intervienen en el proceso de secado de café pergamino en Sajonia S.A. son: Temperatura, humedad, radiación solar y espesor del producto .

VII. MARCO TEÓRICO

7.1 Definición de Café

Figura 2: Estructura interna del grano de café



Fuente: (Duarte, 2003)

El café es un nombre común de un género de árboles de la familia de las Rubiáceas y también de sus semillas y de la bebida que con ellas se prepara. De la treintena de especies que comprende el género *Coffea* sólo son importantes tres: arábica, canephora y libérica. El arbusto o arbolillo, de 4,6 a 6 m de altura en la madurez, tiene hojas aovadas, lustrosas, verdes, que se mantienen durante tres a cinco años y flores blancas, fragantes, que sólo permanecen abiertas durante unos pocos días. El fruto se desarrolla en el curso de los seis o siete meses siguientes a la aparición de la flor; cambia desde el verde claro al rojo y, cuando está totalmente maduro y listo para la recolección, al carmesí. El fruto maduro, que se parece a la cereza, se forma en racimos unidos a las ramas por tallos muy cortos; suele encerrar dos semillas rodeadas de una pulpa dulce (infoagro, 2012).

El café es la bebida obtenida a partir de las semillas tostadas de la planta del cafeto, ésta planta es cultivada ampliamente en países tropicales, es uno de los principales productos de origen agrícola que se comercializan internacionalmente y representa cerca del 25% del valor total de las exportaciones agrícolas del país.

En el beneficio Sajonia S.A. la producción de café oro es la principal tarea, se procura brindar el mejor manejo para poder conservar la calidad del producto.

7.2 Origen del Café

La mayoría de los historiadores coinciden en asignar la paternidad del café como estimulante en el consumo humano a Khaldi, pastor de caprinos posiblemente yemenita, que en aproximadamente corría el año 575 de nuestra era, cuando este pastor observó que su rebaño de cabras, tras comer los acerezados y carnosos frutos del café, un arbusto natural de sus tierras montañosas manifestaban un comportamiento diferente, mostrándose más inquietas, juguetonas y resistentes; Khaldi intrigado decide degustarlos, experimentando en el mismo sus seductores efectos para posteriormente compartir su descubrimiento con los monjes de un monasterio cercano a sus tierras de pastoreo, quienes iniciaron pruebas sistemáticas hasta lograr la vivificante infusión que hoy conocemos como café, palabra afrancesada que deriva del turcogahwé o cahvé y éste del árabe gahwa (Loperena, 2008).

El café viajó en las postrimerías del siglo XVII a la isla de Java, perteneciente al archipiélago Malayo, es de aquí de donde se introducen a Europa en calidad de especies de investigación a los jardines botánicos de Ámsterdam y París. El continente Americano recibe el café originalmente en Surinam y las Antillas Francesas, para quienes continúa siendo un cultivo económicamente importante, y desde donde se introduce oficialmente a territorio continental, y así tiene su origen en el llamado “Nuevo Mundo” la explotación comercial de éste grano con el predominio de Brasil y Colombia (Loperena, 2008).

Aunque no se sabe el origen exacto del café, todas las teorías sitúan su aparición en la actual Etiopía, según se explica en numerosas leyendas fue un pastor de ovejas el que, tras ver el efecto que unas plantas con frutos rojizos tenían en su rebaño de ovejas, decidió probarlos. Tras comprobar el efecto vigorizante que tenía, llevó unas muestras a un monasterio donde los monjes lo cocinaron y lo probaron, el resultado fue amargo no gustó nada, por lo que decidieron arrojar los granos restantes a las brasas para quemarlos. Fue entonces cuando el aroma de esos frutos quemados empezó a ser agradable y decidieron elaborar la bebida con ellos.

El café ha viajado a lo largo de la historia y hoy en día es el principal producto agrícola cultivado y procesado en nuestro país, especialmente en las ciudades de Matagalpa y Jinotega donde se encuentran la mayoría de beneficios de café húmedo y también seco como Sajonia S.A.

7.3 Generalidades del Café

En el ámbito internacional se diferencian cuatro calidades básicas de café, que de acuerdo a su lugar de origen, son los siguientes: (1) Arábicas suaves tipo colombianos, cultivados en Colombia, Kenia y Tanzania; (2) Otros arábicas suaves, que crecen en Burundi, Costa Rica, Cuba, República Dominicana, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Haití, Honduras, India, Jamaica, Malawi, México, Nicaragua, Panamá, Papúa Nueva Guinea, Perú, Ruanda, Venezuela, Zambia, y Zimbawe; (3) arábicos no lavados, provienen principalmente de Brasil, Etiopía, Bolivia y Paraguay; y (4) robustas Angola, Benín Camerún, República Centroafricana, Congo, Costa de Marfil, Guinea, Indonesia, Liberia, Madagascar, Nigeria, Filipinas, Sierra Leona, Sri Lanka, Tailandia, Togo, Trinidad y Tobago, Vietnam, Zaire y Uganda (infoagro, 2012).

Entre las calidades básicas de café a nivel internacional sobresale la calidad arábica, la cual es cultivada en muchos países gracias a que se adapta fácilmente a diferentes climas y terrenos, esta es la variedad mas cultivada en Nicaragua.

En beneficio Sajonia S.A el café ha sido el producto que ha permitido el crecimiento del beneficio donde se procesan diferentes calidades y variedades de café.

7.4 Clasificación del Café

Según café el Faro (2010) la semilla de café se extrae del fruto cafeto del cual existe una gran variedad en los cuales proceden tres grandes grupos principales muy bien diferenciados: el tipo Arábica, el Libérica y la Robusta.

7.4.1 Coffea arábica (variedades árabes):

El café arábica es un arbusto de la familia de las rubiáceas nativo de Etiopía, es la principal especie cultivada para la producción de café, obtenida a partir de las semillas tostadas, y la de mayor antigüedad en agricultura, fechándose su uso a finales del primer milenio en la península arábica, es el cultivo más extendido, debido a que la planta soporta muy bien climas y terrenos diferentes. Se caracterizan por ser de porte pequeño, mediano y alto de forma apinada o cónica compactas y semi-compactas, su producción promedio anual con un manejo adecuado oscila entre los 4.5 a 6.5 kg. /Planta, siendo estas: Typíca, o Criollo, Bourbon, Caturra, Mundo Novo, Catuaí, Garnica, Oro Azteca, Maragogipe y Pacamara; Traídas de otros países para efectos experimentales; San Bernardo, San Ramón, Villa Sarchí, Villa Lobos, Blue Mountain, Catimor Colombia y Sarchimor, entre otras.

7.4.2 Coffea canephora (Variedades Robustas):

La especie Robusta, procede de la zona de Indonesia su variedades Robusta Tradicional y Romex Mejorada. Como su nombre lo indica, estas son de forma robusta de gran vigor y rusticidad, su tamaño llega a ser 3 a 4 veces mayor que cualquiera de las arábicas, sus hojas y ramas son mayores que la variedad Typíca pero no sus frutos, los cuales son más pequeños, redondos y con escaso mucílago, su productividad es en promedio de 7 a 10 kg. Por planta.

7.4.3 Coffea Libérica

El café Libérica se da en un árbol fuerte y de gran tamaño, de hasta 18 metros de altura, de hojas grandes y coriáceas. El fruto y la semilla (grano) son también grandes. El café Libérica se cultiva en Malasia y en África Occidental, pero sólo se comercia en cantidades muy pequeñas, dado que la demanda de sus características de aroma y sabor es muy escasa (café el faro, 2010).

Las diferentes clasificaciones del café presentan características diferentes siendo el café arábica el de mayor calidad, sabor intenso y gran aroma el cual su cultivo predomina ya que se adapta fácilmente a diferentes terrenos y climas mientras que el café Robusta posee menor calidad, es más resistente a plagas y su precio es inferior por último el café Libérica se comercia en cantidades muy pequeñas, dado que la demanda de sus características de aroma y sabor es muy escasa.

En el beneficio Sajonia el café que se procesa es arábica el cual es traído de diferentes fincas ubicadas en Matagalpa y Jinotega.

7.5 Propiedades Físicas del Café

Figura 3: Café pergamino



Fuente: (Marie, 2012)

Las constantes físicas del café son las relaciones físicas existentes entre el peso y el volumen, el contenido de humedad y otras características del fruto del café, teniendo en cuenta los diferentes estados en que se puede transformar el producto desde cereza madura hasta café pergamino y café oro. Las constantes físicas son un instrumento útil para evaluar el sistema productivo, éstas facilitan las operaciones comerciales y el diseño de los beneficios, así como el diseño y calibración de los diferentes dispositivos y máquinas empleados en el proceso de beneficiado del café (Montilla Perez, Pulgarin, & Aristizabal, 2008).

Entre las propiedades físicas del café se ubican los diferentes estados que este se pueda encontrar ya sea cereza madura, café pergamino el cual es grano de café envuelto en el endocarpio que se le conoce comúnmente como cascarilla y luego el café oro que es el café listo para exportación.

En el beneficio Sajonia se procesa café pergamino de excelente calidad, se recibe el café en estado mojado, se seca y después se realiza el proceso de trillado donde se separa el grano de la cascarilla para empacarlo y ser exportado.

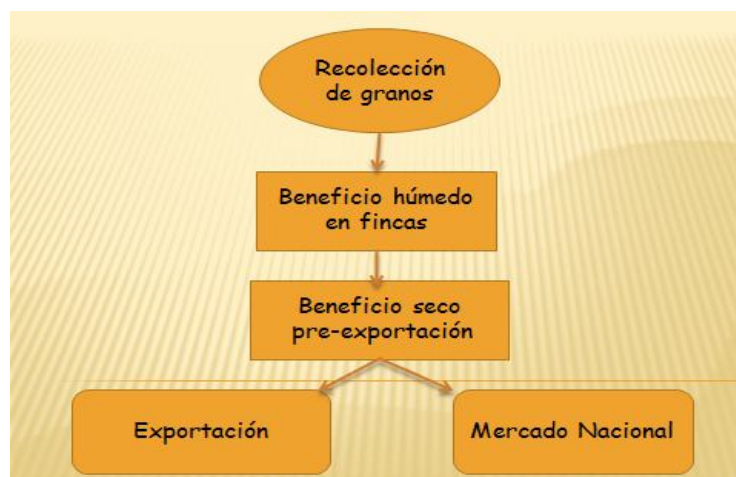
7.6 Calidad del Café

La calidad es el conjunto de propiedades y características de un producto o servicio, que le confieren la aptitud para satisfacer las necesidades expresas. Las necesidades pueden incluir aspectos relacionados con la aptitud para el uso, seguridad, disponibilidad, confiabilidad, mantenimiento, aspectos económicos y de medio ambiente (Deming, 1988).

La calidad es un atributo que distingue o caracteriza una cosa y que permite clasificarla en grados o clases. A finales del siglo XIX, el café se comercializaba teniendo en cuenta solo la apariencia del grano verde (crudo). La catación es una serie de pruebas que realiza un experto para calificar un lote de café. Se debe evaluar en cereza, pergamino, almendra, tostado, molido, bebida.

El beneficio Sajonia S.A. cuenta con un departamento de control de calidad el cual realiza pruebas de catación donde se realiza un análisis sensorial por medio de los órganos de los sentidos (vista: tamaño, forma, color, apariencia; olfato: aroma; gusto: acidez, cuerpo, sabor) para determinar la calidad del producto.

Figura 4: Flujos de proceso de Beneficiado



Fuente: (Milan, 2004)

7.7 Beneficiado Húmedo

Es el eslabón menos cuidado de la red de flujos de procesamiento. Este proceso se ha realizado históricamente de manera artesanal en pilas de fermentación fabricadas en las fincas. Este proceso incluye la fase de fermentación, en donde la calidad del grano puede ser seriamente dañada si no se controla cuidadosamente. Posterior a esta fase, el grano se traslada a los beneficios para el beneficiado seco (Milán, 2004).

El método de beneficiado húmedo emplea cafetales extensos. Su empleo requiere grandes cantidades de agua y los consiguientes equipos de bombeo. Las principales etapas son: la recolección selección, despulpe, secado.

➤ **Recolección de café cereza:**

En ésta etapa se cosechan únicamente los granos que alcanzan el estado de madurez completo, normalmente de color rojo o amarillo, ya que los verdes dañan el sabor de la taza de un café. Todo este proceso se desarrolla de forma manual.

➤ **Despulpado:**

Consiste en la eliminación de la cubierta externa o pulpa del fruto dejando al descubierto los granos recubiertos con el pergamino, para esto se utilizan maquinas llamadas despulpadoras, que pueden ser de discos o de cilindro

➤ **Fermentación:**

Una vez despulpado el grano, debe ser colocado en tanques de madera o cemento, debiendo evitar fermentar en bolsas o costales de plástico, ya que éste material se enfría por los lados y se calienta mas en el centro, dando por resultado un fermentado desigual, pasándose de tiempo en la parte central y faltando en los lados, lo que ocasiona que baje la calidad del grano. En esta parte del proceso, los granos permanecen en reposo.

➤ **Lavado:**

Una vez fermentado se procede a lavar, con agua limpia se retiran los restos de mucilago que quedan en el grano y se eliminan los azúcares.

➤ **Secado:**

Después de lavar, se exponen los granos al calor del sol para que el grado de humedad disminuya, facilitando su conservación. El grano seco se empaca en sacos limpios facilitando su traslado (castillo, 2002).

El proceso de beneficio húmedo del café es utilizado por la alta calidad del grano que se obtiene, aunque tiene como inconveniente el estricto control del proceso y la utilización de altos volúmenes de agua, y por tanto altos volúmenes de residuales líquidos y sólidos.

Para el beneficio Sajonia S.A. es imprescindible que el producto que se recibe de los beneficios húmedos haya sido manejado con el mayor control posible para lograr alcanzar la calidad final deseada.

7.8 Beneficiado Seco

El método seco o beneficio seco, es la segunda etapa del proceso que se concentra en secar el grano y eliminar las envolturas externas (pergamino). Este consiste en secar, descascarar, clasificar, y seleccionar el grano, según calidades (de primera, segunda, imperfectos) y destino del grano para exportación o consumo interno (Milán, 2004).

Las principales etapas en el proceso de beneficiado seco de café pergamino son: secado, almacenado, trillado, clasificado, escogido y empaque.

➤ Secado:

En ésta etapa el producto es expuesto directamente al sol para disminuir el porcentaje de humedad, este proceso se realiza de manera empírica donde el personal del proceso de secado se encarga de remover el producto y monitorearlo hasta que llegue al porcentaje de humedad deseado.

➤ Almacenado:

Cuando el café ha alcanzado un porcentaje de humedad entre 11.5-12%, se almacena en las bodegas hasta que llegue el momento de trillarlo y preparar el grano para la exportación; debe tenerse el cuidado de que en estas bodegas la humedad del ambiente sea entre 65- 70% y la temperatura entre 20 y 25°C.

➤ Trillado:

Consiste en separar o descascarillar el grano del pergamino (cascarilla). Hay diferentes aparatos diseñados para esta tarea, muchos basados en fricción por medio de tambores, discos, rotores y cuchillas, todos con la función de decorticar el grano.

➤ Clasificado:

Una vez trillado el café se envía a las maquinas de selección donde cribas de diferentes medidas clasifican el grano de acuerdo a su tamaño, luego son enviados a las maquinas disimétricas donde los granos son clasificados por su peso.

➤ Escogido:

Cuando el café ha sido clasificado se envía al área de escogido donde se realiza el proceso de forma manual o con maquinas de selección, con el fin de extraer granos defectuosos y cualquier otra imperfección.

➤ Empacado:

Una vez que el café ha sido clasificado y ha cumplido con las normas de calidad en las áreas anteriores, es empacado para ser exportado al extranjero o para consumo Nacional (Milán, 2004).

En el beneficiado seco el proceso de secado de café pergamino se realiza de manera natural exponiendo el producto al sol, ocupando grandes superficies, cuando éste alcanza el nivel de humedad establecido se almacena luego se trilla separando el pergamino del grano, se clasifica, se escoge y es empacado para su exportación donde el producto es denominado café oro.

El beneficiado seco en el beneficio Sajonia S.A. se realiza brindando el mejor manejo posible al producto para que éste pueda conservar su calidad, por lo cual hay un responsable en cada área el cual se encarga de supervisar que el proceso se realice de acuerdo a los estándares establecidos.

7.9 Secado Solar

El secado solar es una operación básica que consiste en reducir la humedad de un producto cualquiera, de forma que el producto final presenta unas características muy diferentes a las del inicial. Entre las ventajas que éste presenta entraña un gran inconveniente: el carácter periódico de la radiación solar y la variación de la intensidad de la radiación incidente en función del tiempo, siendo ésta una circunstancia que requiere una estrategia de diseño y control adecuado para posibilitar el secado efectivo, aún así esta dificultad puede solucionarse con la utilización de alguna fuente auxiliar (Mujumdar, 2000).

Los elementos que determinan las condiciones de secado solar son los siguientes:

➤ Características del producto:

Se debe tomar en cuenta el contenido inicial de humedad que posee el producto y el contenido final de humedad que deseamos obtener. También en este punto tenemos que considerar el estado físico como es la forma, el tamaño, su superficie, etc. También la sensibilidad a la temperatura.

➤ Características del método de secado:

Básicamente su nivel de tecnificación (si se utiliza fuente de energía adicional). Aquí también se considera el volumen que se va a secar.

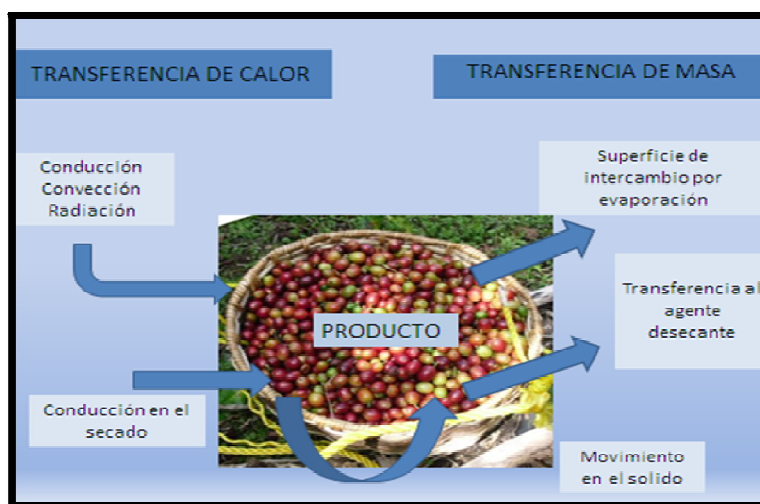
➤ Características meteorológicas:

Se debe tomar en cuenta la humedad relativa, la temperatura, la radiación solar, precipitación, etc (Chávez, 2000).

El secado solar es un sistema habitual utilizado en el secado de productos agrícolas, es un proceso simultáneo de transferencia de calor y masa, por lo cual las propiedades del producto, el método de secado y los factores meteorológicos intervienen directamente en el proceso modificando el producto.

En beneficio Sajonia S.A. el secado solar es el proceso primordial para desarrollar el proceso de beneficiado completo, en el cual se aprovecha el sol como única fuente de energía.

Figura 5: Transferencia de Calor y masa en el secado solar.



Fuente: (Ekechukwu, 1999)

7.10 Contenido de Humedad

Existen diferentes métodos para medir el contenido de humedad de un producto. Los métodos indirectos utilizan la dependencia de una propiedad del producto (p.ej. su conductividad eléctrica) con el contenido de humedad, consiguiendo una medición rápida pero que requiere de un equipo muy especializado. La determinación directa del contenido de humedad implica medir la masa de producto y la masa seca correspondiente al eliminar el agua evaporable contenida en él, aplicando calor a una temperatura generalmente de 104 °C hasta alcanzar un peso constante de la muestra. Este método, aunque es el más utilizado, presenta como principal inconveniente el que al evaporar el agua se pueden eliminar, al mismo tiempo, otras sustancias volátiles del producto lo cual puede suponer errores en la obtención de dicha variable. La cantidad de humedad presente en un material puede ser expresada en base húmeda o en base seca, e indicada como decimal o porcentaje (Ekechukwu O. , 1999).

Según (Ekechukwu O. , 1999) el contenido de humedad en base húmeda, definido como el peso del agua presente en el producto por unidad de peso del material sin secar, viene dado por la Ec. (1). De igual Manera, el contenido de humedad en base seca, definido como el peso del agua presente en el producto por unidad de peso del material seco, se indica en la expresión (2).

$$1) M_{wb} = \frac{W_w}{W_0} = \frac{W_0 - W_d}{W_0}$$

$$2) M_{db} = \frac{W_w}{W_d} = \frac{W_0 - W_d}{W_d}$$

Donde M_{wb} es la humedad en base húmeda (kgagua/kgprod.húmedo), M_{db} es la humedad en base seca (kgagua/kgprod.seco), W_0 es el peso inicial de material sin secar (kg), W_w es la cantidad de agua en el producto húmedo (kg) y W_d es el peso de la materia seca en el producto (kg).

Las relaciones entre M_{wb} y M_{db} son las siguientes:

$$3) M_{wb} = 1 - \left(\frac{1}{M_{db} + 1} \right)$$

$$4) M_{db} = \left(\frac{1}{1 - M_{wb}} \right) - 1$$

Habitualmente en ingeniería y, más concretamente, en ensayos de secado, donde el producto se va pesando de forma regular disponiendo de un registro de pérdida de peso, el contenido en humedad instantáneo para cualquier tiempo t , en base húmeda o seca, se obtiene respectivamente mediante las expresiones (5) y (6).

$$5) M_{t_wb} = 1 - \left[\frac{(1 - M_{0wb})W_0}{W_t} \right]$$

$$6) M_{t_db} = \left[\frac{(M_{0db} + 1)W_0}{W_t} \right] - 1$$

Siendo M_0 el contenido en humedad inicial en base húmeda o seca y representando W_t el peso del material en el tiempo t (kg) (Ekechukwu O. , 1999).

El factor de mayor influencia en la cinética de secado, que afecta en general a todos los ratios de secado es el contenido de humedad del material, el cual está dado por la relación entre el la masa del producto a secar entre la cantidad de agua contenida en el producto.

En Sajonia S.A. el porcentaje de humedad que contiene el café determinará el tiempo que éste permanecerá en los patios hasta que alcance el 13% de humedad que es lo establecido en el beneficio.

7.11 Transferencia de calor

La ciencia de la termodinámica trata de las transiciones cuantitativas y reacomodos de energía como calor en los cuerpos de materia. La ciencia de la transferencia de calor está relacionada con la razón de intercambio de calor entre cuerpos calientes y fríos llamados fuente y receptor. Hay tres formas diferentes en las que el calor puede pasar de la fuente al receptor, aun cuando muchas de las aplicaciones en la ingeniería son combinaciones de dos o tres. Estas son, conducción, convección y radiación (Kern, 1999).

7.11.1 Conducción

Es la forma en que se transmite el calor en cuerpos sólidos, cuando se calienta un cuerpo, las moléculas reciben directamente el calor aumentan su vibración y chocan con las que rodean; estas a su vez hacen lo mismo con sus vecinas, hasta que todas las moléculas del cuerpo se agitan, por esta razón, si el extremo de una varilla metálica se calienta con una flama, transcurre cierto tiempo para el calor llegue al otro extremo. La conducción de calor significa transmisión de energía entre sus moléculas.

7.11.2 Convección

La energía calorífica se transmite por el movimiento físico de moléculas “calientes” de las zonas de alta temperatura a las zonas de baja temperatura y viceversa, equilibrándose las temperaturas. Este proceso tiene gran importancia en fluidos y también es denominado conducción superficial, ya que el flujo de calor entre la superficie de un material y un fluido está relacionado con la conducción a través de una fina capa del fluido que se encuentra junto a la superficie. Además, es este proceso de conducción superficial el que provoca, en un fluido inicialmente en reposo en contacto con una superficie a distinta temperatura, una diferencia de temperaturas en el fluido, originándose diferencias de densidad en el mismo que producirán a su vez un desplazamiento físico de materia a distintas temperaturas de unas zonas a otras, teniéndose convección (en este caso natural).

7.11.3 Radiación

La energía calorífica se transmite en forma de energía de la radiación electromagnética, emitida por todos los cuerpos por el hecho de encontrarse a una temperatura T , y que se propaga a la velocidad de la luz (porque es luz de distintas longitudes de onda) y puede ser absorbida por los cuerpos, aumentando su temperatura (kern, 1999).

La transferencia de calor por conducción es la forma en que se transmite el calor en cuerpos sólidos debido al choque de partículas mientras que la convección se da más en fluidos y puede ser forzada cuando está ayudada por el movimiento de las superficies en contacto con el fluido o libre, en cambio la radiación es el único medio de transmisión del calor a través del vacío, y puede ser muy importante para altas temperaturas.

La transferencia de calor en el proceso de secado de café pergamino en Sajonia S.A. se da mediante convección del aire desecante del ambiente y radiación solar.

7.12 Radiación solar

En lo que respecta al secado solar, la caracterización de la radiación disponible en el lugar resulta fundamental para en diseño y control óptimo del funcionamiento de los dispositivos de secado. Pese a ser el de la radiación solar un tema ampliamente difundido, se pretende dar una visión general de algunos conceptos específicos sobre la misma. Se empleará indistintamente el término radiación solar, como es común en la práctica, para referirse a la potencia o energía entregada por el sol. Las definiciones precisas de ambos términos son las siguientes:

7.12.1 Irradiancia (potencia de la radiación):

Es la energía incidente sobre una superficie por unidad de tiempo y de área. Se representa habitualmente por I y sus unidades en el S.I. son W/m^2 .

7.12.2 Irradiación (energía de la radiación):

Es la energía incidente sobre una superficie por unidad de área, durante un determinado periodo de tiempo. Se identifica generalmente por H y sus unidades en el S.I. son J/m^2 .

El sol desde el punto de vista físico está constituido por un 70% de H_2 , es un enorme reactor nuclear que irradia continuamente con una potencia de $3.8 \cdot 10^{23} \text{ KW}$. De esta cantidad, la tierra intercepta $1.7 \cdot 10^{14} \text{ KW}$, siendo el 30% de la radiación recibida reflejada al espacio, el 47% absorbida para mantener la temperatura ambiente y el 23% restante utilizado para mantener la convección atmosférica y el ciclo hidrológico (Blanco Galvez, 2002).

La radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. en cuyo interior tienen lugar una serie de reacciones de fusión nuclear, que producen una pérdida de masa que se transforma en energía.

En sajonia S.A el proceso de secado se realiza por medio de la radiacion solar (ver figura 13), ya que el producto se ubica sobre pilas de concreto expuesto directamente al sol para disminuir el porcentaje de humedad que este contiene.

7.13 Clasificación de los secaderos

Todos los sistemas de secado, en primer lugar, se pueden tipificar de acuerdo al rango de temperatura de operación en secaderos de alta y baja temperatura. Convencionalmente en la industria y de forma general, los secaderos de alta temperatura utilizan combustibles biomásicos o energía solar. Además, los secaderos de alta temperatura se utilizan cuando se requiere un secado muy rápido, de forma que el material a secar permanece un corto período de tiempo en contacto con el agente desecante. A su vez éstos pueden ser flujo continuo o discontinuo. (Ekechukwu & Norton, 1999)

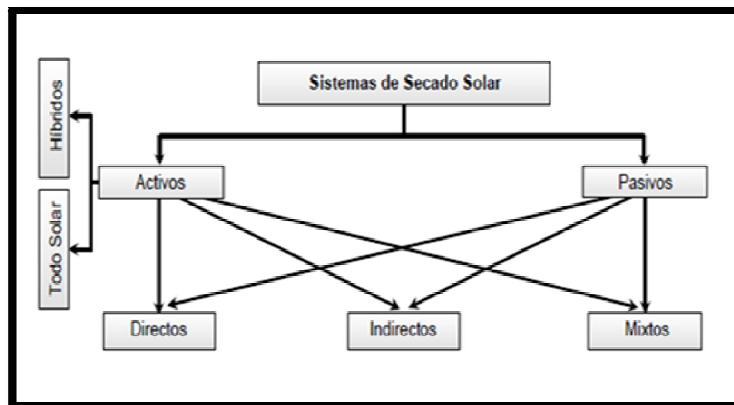
Sin embargo, habitualmente los secaderos se clasifican según la fuente energética utilizada, teniendo así secaderos de combustibles fósiles, comúnmente llamados secaderos convencionales y secaderos de fuentes renovables como lo son: combustibles biomásicos, energía solar, sistemas híbridos solar-biomasa, etc.

Un secadero solar para café debe brindar el mayor cuidado posible, además de ser elaborado con materiales especiales que no perjudiquen la calidad del producto.

7.14 Tipología de secaderos solares

Existe una gran variedad de sistemas de secado solar, utilizados para los más diversos productos, englobándose dentro de los secaderos de baja temperatura.

Figura 6: Tipología de sistemas de secado solar



Fuente: (Leon, Kumar, & Bjhattacharya, 2002)

Los sistemas solares de secado se pueden clasificar, según la forma de circulación del aire desecante, en dos grandes grupos: Sistemas solares activos o de convección forzada y sistemas solares pasivos o de convección natural (Ekechukwu & Norton, 1999).

Los sistemas de secado activos tienen un mayor rendimiento gracias a las fuentes auxiliares que emplean pero a su vez elevan los costos de operación, los sistemas de secado pasivos son más económicos pero su rendimiento es inferior, ambos sistemas pueden ser directos indirectos o mixtos, siendo los mixtos el modelo que mejor desempeño tiene al momento de realizar un proceso de secado.

Un sistema de secado aplicado al proceso de secado de productos agrícolas puede acelerar el proceso reduciendo en gran manera tiempo de secado y costos de producción.

7.14.1 Sistemas solares activos o de convección forzada

Incorporan elementos externos, como ventiladores, para mover el aire caliente utilizado en la extracción de humedad del producto, pueden ser a su vez, sistemas “todo solar”, en los que el

aporte energético se obtiene en su totalidad de la radiación solar, o sistemas “híbridos”, para los que además de la radiación solar se utiliza una fuente energética auxiliar

7.14.2 Sistemas solares pasivos o de convección natural

No incorporan elementos para forzar la circulación del agente desecante, produciéndose este movimiento por la variación de densidad del mismo provocada por la diferencia de temperaturas, se puede hablar de tres subclases de sistemas solares atendiendo a la disposición de los componentes del conjunto y al modo de utilización de la energía solar:

Secaderos solares de tipo integral o directo

Secaderos solares de tipo distribuido o indirecto

Secaderos solares tipo mixto

7.15 Secadores solares activos

Los sistemas solares activos dependen solo parcialmente de la energía solar, ya que, o bien emplean energía solar como aporte de calor y energía eléctrica para los ventiladores, o bien utilizan como fuente de calor energía solar conjuntamente con combustibles electricidad para los sistemas de impulsión de aire (Ekechukwu & Norton, 1999)

En todos los casos se provoca la convección forzada del agente desecante. Como se ha indicado pueden ser sistemas “todo solar” o “híbridos”, recibiendo esta última designación los secaderos solares activos que incorporan un aporte económico suplementario, que se utilizará, por ejemplo, durante las operaciones de secado nocturnas o en periodos con bajos niveles de insolación. En todas las situaciones posibles, con los sistemas de secado solar activos se consigue en diferentes proporciones, una reducción del consumo de energía convencional.

Según Montero, (2005) estos dispositivos son más efectivos y más fáciles de controlar que los secaderos solares pasivos; sin embargo, el requerimiento de electricidad para los ventiladores o combustibles fósiles como fuentes auxiliares de calor, puede aumentar considerablemente los costos de operación y mantenimiento.

7.15.1 Secaderos solares activo de tipo integral:

Son sistemas en los que la unidad de recepción de la radiación solar es la propia cámara de secado. A su vez pueden ser secaderos de absorción directa sobre el producto, secaderos con pared o cubierta colectora y secaderos tipo invernadero con cámara de absorción interna.

7.15.2 Secaderos solares activos de tipo distribuido:

Son diseños en los que el calentador solar de aire y la cámara de secado constituyen unidades separadas. Los cuatro componentes básicos del sistema distribuido son: la cámara de secado, el calentador de aire, el ventilador y el conducto de unión entre el calentador y la cámara.

7.15.3 Secaderos solares activos de tipo mixto:

Estos tipos de secaderos combinan las características de los secaderos integrales y los distribuidos. Los componentes típicos son los indicados para los secaderos indirectos, con la salvedad de que la cámara de secado es de algún material traslúcido que permite que el producto absorba directamente la radiación, al igual que en los sistemas directos (Ekechukwu & Norton, 1999).

En los sistemas de secado convencional la eficiencia del secado aumenta con la temperatura, siendo la temperatura de trabajo tan alta como el producto pueda soportar. Por el contrario, en los secaderos solares de tipo distribuido, la máxima temperatura posible puede no proporcionar el diseño más óptimo, ya que la eficiencia del colector solar disminuye con el aumento de la temperatura de salida.

Por tanto la decisión en el diseño de estos sistemas conduce a dos alternativas: Temperaturas de aire altas con bajos niveles de flujo de aire y altos requerimientos de aislamientos, o bien temperaturas de secado más bajas disminuyendo el aislamiento necesario y por tanto su coste. Sin embargo, puesto que para altas temperaturas la eficiencia de estos dispositivos aumenta con el flujo de aire, en el diseño será necesario realizar un balance entre el tamaño de los ventiladores usados y el nivel de aislamiento requerido (Montero, 2005)

7.16 Secaderos solares pasivos

Los sistemas solares de circulación natural, llamados pasivos para distinguirlos de los sistemas que utilizan ventiladores para forzar el flujo de aire, dependen totalmente de la energía solar (Ekechukwu & Norton, 1999).

Según Montero, (2005) aunque éstos presentan grandes ventajas frente al secado natural, son menos eficientes que los sistemas activos; sin embargo, pueden ser la opción más atractiva para emplazamientos remotos en zonas rurales o para áreas geográficas donde la actividad eléctrica es escasa.

7.16.1 Secaderos solares pasivos de tipo integral:

También llamados sistemas solares pasivos directos. Al igual que en los sistemas activos directos, su principal característica está en que la cámara de secado cumple la función de colector recibiendo la radiación solar. Los secaderos de este tipo son más baratos y más sencillos de

construir que los distribuidos, para la misma capacidad de carga, el mantenimiento que requieren es escaso, sin embargo, su eficiencia es baja debido a la simplicidad del diseño y al escaso control que se posee sobre el proceso de secado, siendo, este uno de sus principales inconvenientes.

Otra desventaja importante de estos dispositivos es la baja velocidad de secado provocada por el reducido flujo de aire. Para evitar este hecho, es habitual la instalación de una chimenea que favorezca la circulación y renovación del aire desecante. Básicamente existen dos tipos de secaderos dentro de los sistemas integrales: secadero solar en caja y secadero tipo invernadero.

7.16.2 Secaderos solares pasivos de tipo distribuido:

También denominados secaderos solares pasivos indirectos. En ellos, el producto a secar se encuentra en bandejas dentro de una cámara de secado opaca y es calentado por el aire circulante, que proviene de un colector solar. Un secadero de este tipo se compone de las siguientes unidades básicas: colector solar de precalentamiento de aire, cámara de secado, conductos de unión convenientemente aislados y chimenea para favorecer el flujo de aire. (Ekechukwu & Norton, 1999)

Su principal inconveniente se encuentra en las fluctuaciones de la temperatura del aire precalentado, que provoca dificultades para mantener condiciones constantes en la cámara. Además requieren mayores inversiones de capital que los secaderos pasivos integrales, siendo también más compleja la manipulación del producto.

Sin embargo, se consiguen temperaturas de operación elevadas que en los secaderos directos y obtienen productos de mayor calidad. Destaca su mayor eficiencia ya que se pueden diseñar los elementos por separado optimizando al máximo cada uno de ellos.

7.16.3 Secaderos solares pasivos de tipo mixto:

Al igual que en los secaderos activos mixtos, este tipo de sistemas combina las características de los secaderos integrales y distribuidos. Así poseen, básicamente las mismas características estructurales que los secaderos pasivos del tipo distribuido, pero con la diferencia de que las paredes de cámara de secado son de material transparente, de manera en que la radiación solar incide directamente sobre el producto. (Ekechukwu & Norton, 1999)

A continuación se muestra una comparación entre los secaderos solares de circulación natural integral y distribuida.

Tabla 1: Comparación entre los secaderos solares pasivos integral y distribuido

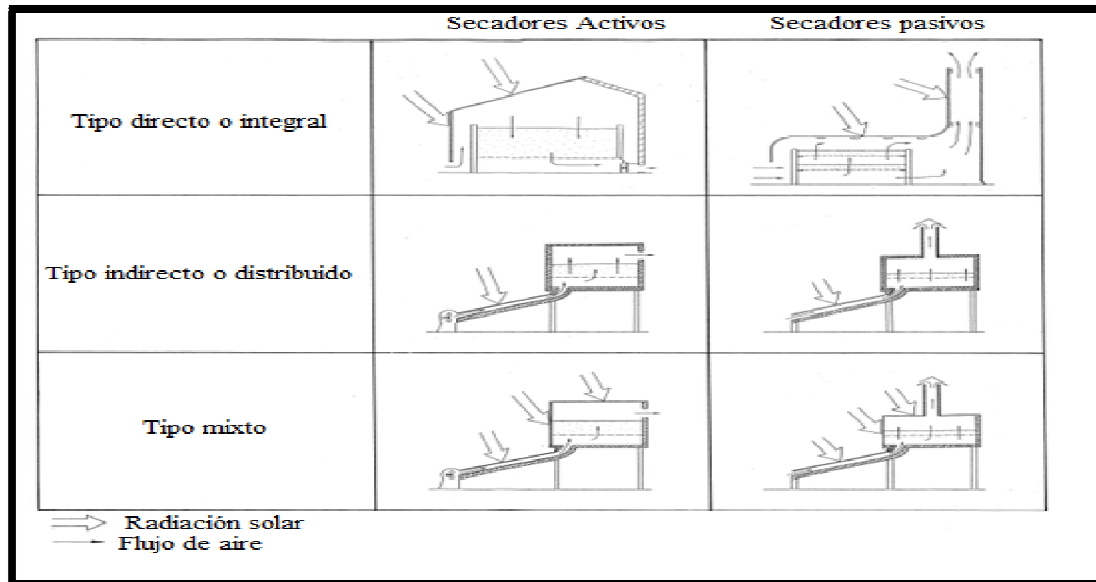
	Tipo integral	Tipo distribuido
Modo de transferencia de calor al producto	Radiación y convección	Convección
Componentes	Cámara de secado translúcida y Chimenea	Calentador solar Cámara de secado Conducto de unión y Chimenea
Costes iniciales	Menores	Mayores
Construcción, operación y mantenimiento	Sencillez de construcción y reducido mantenimiento	Estructuras algo más complejas y mayor dificultad en la carga y descarga del material
Eficiencia	Menor que en sistemas distribuidos por el escaso control posible	Mayor por el diseño eficiente de sus componentes

Fuente: (Montero , 2005)

Según (Montero, 2005) para un óptimo funcionamiento de los sistemas mixtos y distribuidos, tanto activos como pasivos, es fundamental el diseño eficiente de los colectores de aire instalados.

Por lo antes mencionado se puede decir que en base al diseño del sistema dependerá el rendimiento, por lo cual al momento de diseñar se debe tomar en cuenta todos los factores influyentes en el proceso.

Figura 7: Clasificación de secaderos solares



Fuente: (Ekechukwu & Norton, 1999)

7.17 Captadores solares de aire para aplicaciones de secado

Los captadores solares de aire abarcan aplicaciones muy variadas, siendo la más destacada la relativa a su utilización en el secado de productos agrícolas y subproductos biomásicos, con el objetivo de disminuir el consumo de combustible para la obtención de la energía térmica necesaria para el secado (Palaniappan & Subrammanian, 1998).

Son considerados esenciales para cualquier sistema de calentamiento solar debido, a su sencillez de construcción y utilización y su reducido costo.

Un captador solar consta básicamente de una superficie absorbidora (usualmente pintada en negro) que absorbe la radiación solar incidente y la transmite en forma de calor al fluido de trabajo, siendo este, para aplicaciones de secado, habitualmente aire. El diseño eficiente de un captador solar, como unidad de precalentamiento del aire desecante, es imprescindible para el correcto funcionamiento de los sistemas de secado indirecto y mixto, activo o pasivo.

7.18 Tipología de captadores solares

En general se pueden clasificar en calentadores de concentración o calentadores de placa plana. En los colectores de concentración se consiguen temperaturas de trabajo mayores que en los de placa plana. Sin embargo, para la elevación de temperaturas requerida en las aplicaciones de secado (entre 10 y 35 °C por encima de la temperatura ambiente) y por sus mejores condiciones tecno-económicas, los captadores solares de placa plana son más utilizados que los de concentración.

Según (Ekechukwu O. , 1999), los colectores solares de placa plana se clasifican en dos grupos: con superficie absorbedora descubierta y con superficie absorbedora cubierta. Las diferentes configuraciones existentes pretenden obtener una mayor eficiencia y durabilidad, así como una disminución del costo de construcción y mantenimiento.

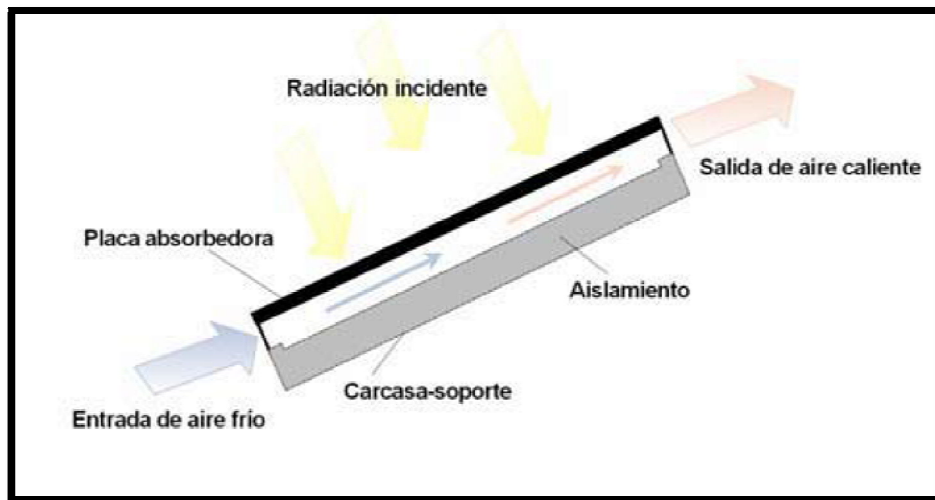
7.18.1 Captadores solares de aire de placa plana sin cubierta

Los colectores solares de placa plana y sin cubierta representan los sistemas de calentamiento de aire más simples de menor costo de construcción. Consisten básicamente en una superficie absorbedora, un conducto de aire y un espesor de aislamiento, produciéndose la transferencia de calor al aire por la parte posterior de la placa absorbedora.

Aunque tienen pérdidas ópticas mínimas por no disponer de cubierta transparente, presentan unas elevadas pérdidas térmicas por convección, al estar la superficie absorbedora expuesta al aire directamente, siendo estas mayores conforme aumente la temperatura de trabajo.

No obstante pueden resultar bastante apropiados para aplicaciones en las que se requieren elevaciones de temperatura muy bajas respecto a la temperatura ambiente (<10 °C). De esta forma, simplicidad y bajo coste pueden compensar su utilización, aun teniendo menor rendimiento que otros dispositivos (Ekechukwu & Norton, 1999).

Figura 8: Captador solar de aire de placa plana sin cubierta



Fuente: (Ekechukwu & Norton, 1999)

7.18.2 Captadores solares de aire de placa plana con cubierta

Para reducir las pérdidas térmicas descritas anteriormente, estos dispositivos incorporan una o dos cubiertas sobre y paralelamente a la superficie absorbedora, consiguiendo así reducir las pérdidas por convección, las pérdidas por emisión de radiación de onda larga de la placa absorbedora y proporcionar una protección a los elementos ubicados por debajo de la cubierta (Ekechukwu & Norton, 1999).

La cubierta debe ser de un material (vidrio, plástico, metacrilato, policarbonato, etc.) que permita el paso de la radiación de onda corta del sol, e impida la salida de la radiación de onda larga emitida por la superficie absorbedora.

En general, se puede decir que los colectores solares planos con superficie absorbedora cubierta presentan un mayor rendimiento que los sistemas sin cubierta en procesos con moderadas elevaciones de temperaturas. En contrapartida, presentan costes de construcción mayor y en algunos casos, pueden también conllevar costes de mantenimiento superiores (rotura de cubiertas, limpieza, etc.)

Estos colectores habitualmente se usan para conseguir temperaturas entre 10 y 35°C sobre la temperatura ambiente. Los tipos más habituales son:

Captador de placa plana con cubierta y paso de aire superior.

Captador de placa plana con cubierta y paso de aire inferior.

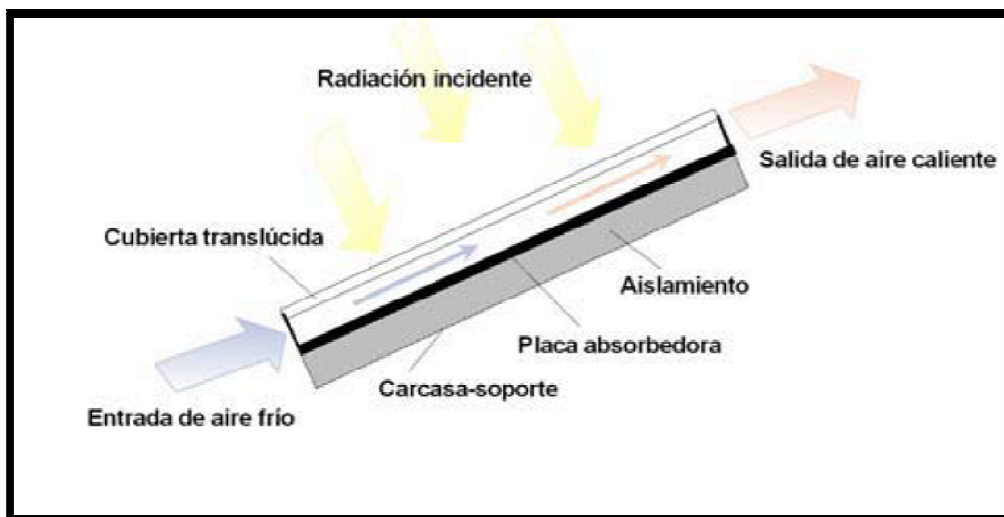
Captador de placa suspendida.

Captador de placa perforada.

7.18.2.1 Captador de placa plana con cubierta y paso de aire superior.

Esta es la tipología más sencilla dentro de los captadores con cubierta. En ellos, el aire a calentar pasa a través del espacio limitado entre la cubierta y la superficie absorbedora. De esta forma, la transferencia de energía hacia el aire se produce en la superficie superior de la placa absorbedora.

Figura 9: Captador solar de aire de placa plana con cubierta de paso superior



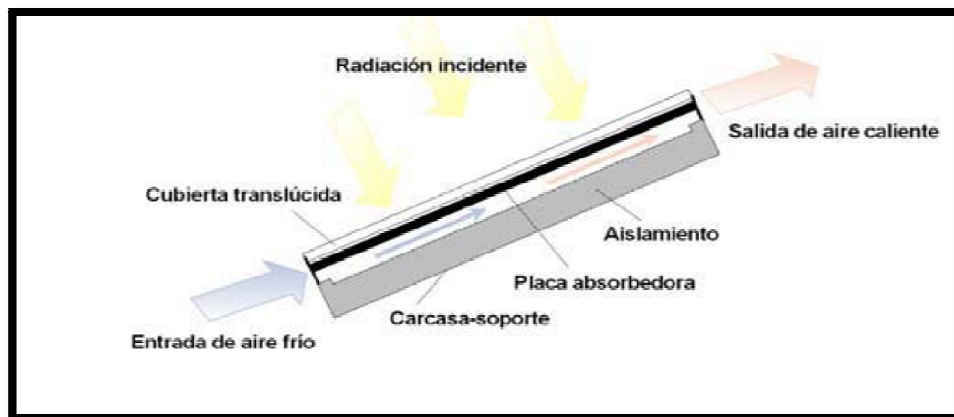
Fuente: (Ekechukwu & Norton, 1999)

7.18.2.2 Captador de placa plana con cubierta y de paso de aire inferior

En esta disposición la superficie absorbedora se sitúa directamente bajo la cubierta transparente, con una capa de aire estático, separándola de la cubierta. El aire a calentar fluye entre la superficie inferior de la placa absorbedora y el aislamiento. Diferentes estudios realizados aseguran que los captadores de paso inferior son más eficientes que los de paso superior anteriormente descritos (Ekechukwu & Norton, 1999).

Los captadores de placa plana con cubierta y paso de aire inferior permiten que el aire desecante que ingresa a la cámara de secado en los sistemas de secado, tenga una temperatura que permita agilizar el proceso de secado.

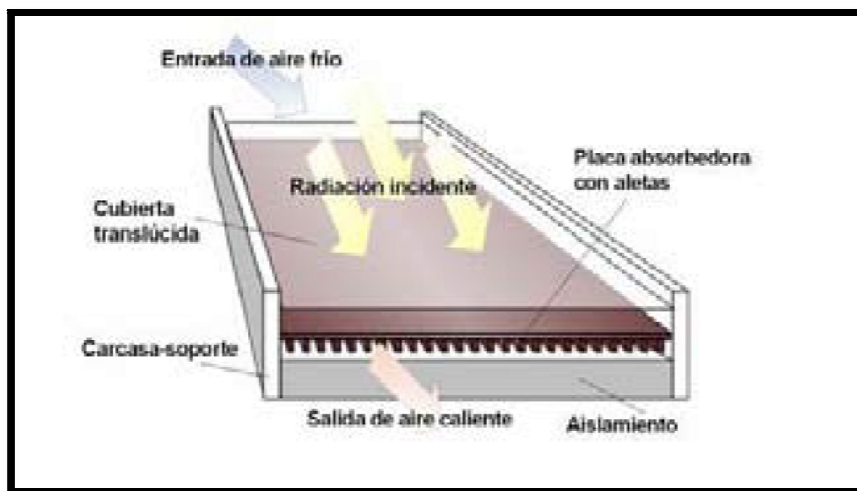
Figura 10: Captador solar de aire de placa plana con cubierta de paso inferior



Fuente: (Ekechukwu & Norton, 1999)

Dentro de esta tipología existen algunas configuraciones especiales, tales como absorbedor con aletas y placa absorbedora corrugada en V invertida, las cuales pretenden aumentar la temperatura de salida del aire y por consiguiente, el rendimiento del colector, en aras de una reducción de los tiempos de secado (Avene, Dubosis, Le Ray, & Ouguagued, 2004).

Figura 11: Captador solar de aire de placa plana con aletas

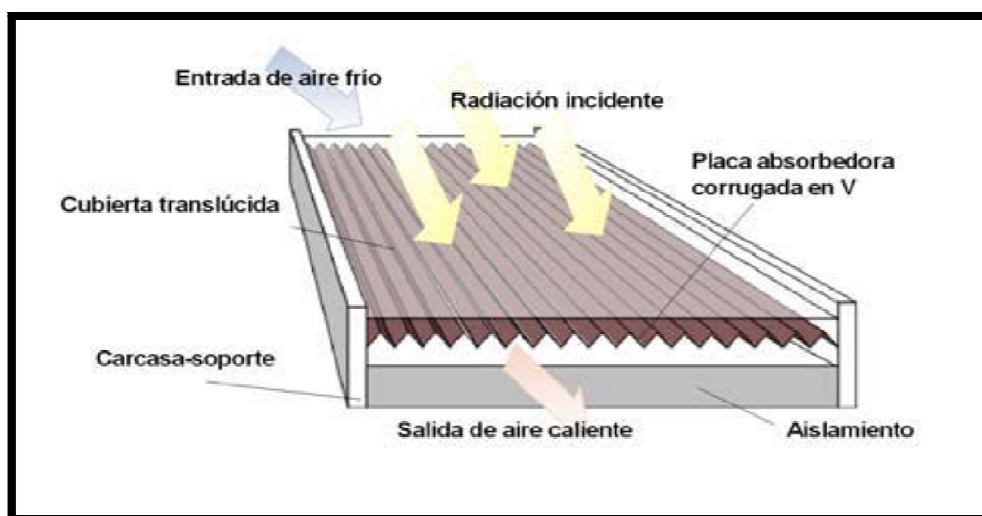


Fuente: (Ekechukwu & Norton, 1999)

El diseño del captador solar con placa absorbedora corrugada en V invertida pretende aumentar la temperatura de salida del aire, de esta manera incrementando el rendimiento del colector, con el propósito de reducir el tiempo de secado (Avene, Dubosis, Le Ray, & Ouguagued, 2004)

El modelo de captadores corrugados en Vinvertida permiten que el flujo de aire que ingresa a la camara de secado se desplace a mayor velocidad

Figura 12: Captador solar de aire de placa plana corrugada en V



Fuente: (Ekechukwu & Norton, 1999)

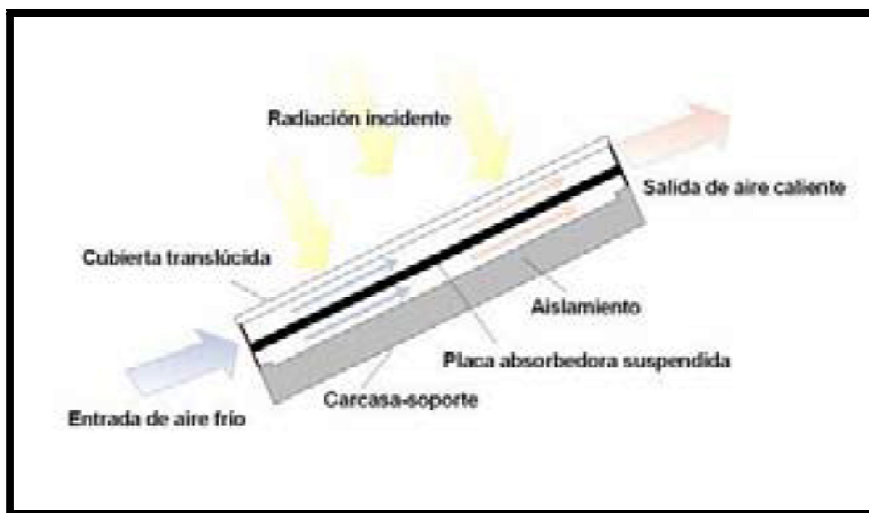
7.18.3 Captador de placa suspendida

En los captadores de placa suspendida, la superficie absorbedora se encuentra fijada entre la cubierta y el aislamiento, de esta forma, el flujo de aire circula por ambas caras del absorbedor, aumentando la superficie de transferencia de calor. Además, por la disposición de la superficie absorbedora, ésta se encontrará a menor temperatura y por tanto se reducirán las pérdidas por radiación, consiguiéndose eficiencias mayores que en los captadores de placa plana de paso superior e inferior. Las configuraciones más frecuentes de esta tipología son las de simple paso con flujo paralelo y las de doble paso (Ekechukwu & Norton, 1999).

Este sistema puede ser diseñado de dos maneras, de simple paso el cual tiene una estructura fácil de construir ya que este es sencillo y de doble paso que trabaja de manera eficiente realizando un doble recorrido

Los captadores solares de placa suspendida permiten que los secaderos puedan realizar su trabajo en un tiempo más corto.

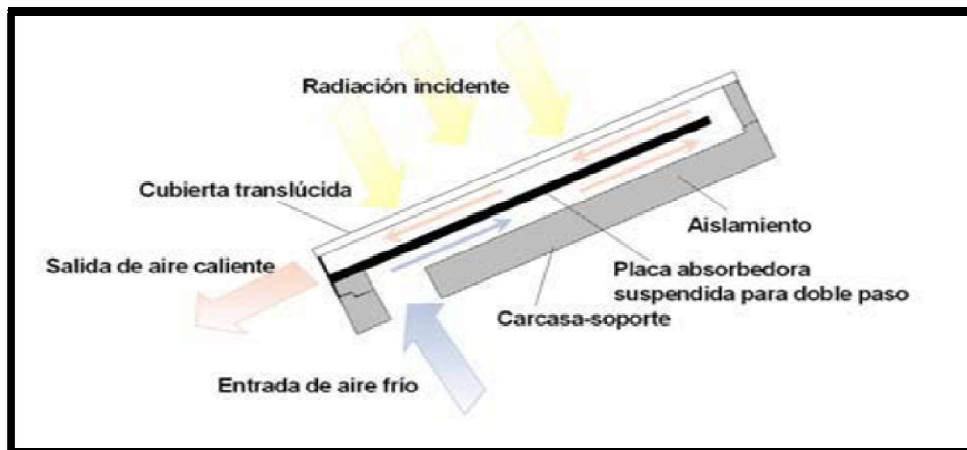
Figura 13: Captador solar de aire de placa plana de simple paso



Fuente: (Ekechukwu & Norton, 1999)

La elaboración del captador solar de aire de placa plana de simple paso es económica y su diseño es muy sencillo, sin embargo el captador de doble paso permite que el aire que ingresa a la cámara de secado pueda alcanzar temperaturas superiores, lo cual le permite tener un mayor rendimiento, pero los costos de su elaboración son mayores.

Figura 14: Captador solar de aire de placa plana suspendida de doble paso



Fuente: (Ekechukwu & Norton, 1999)

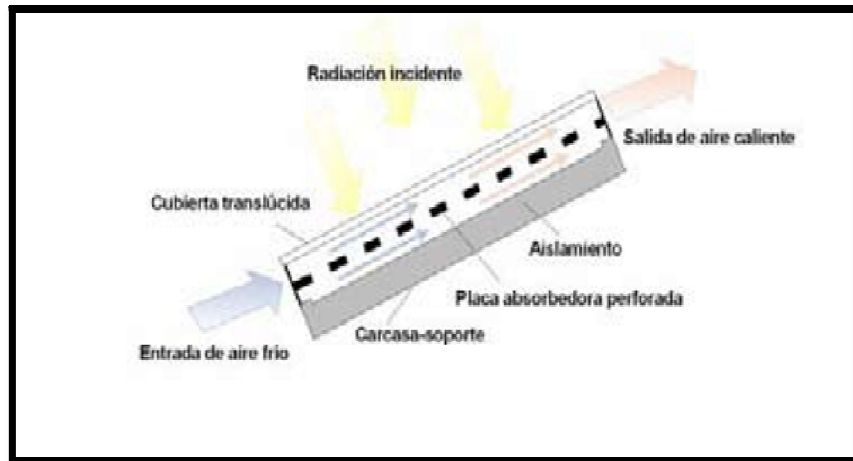
Este sistema trabaja de manera muy eficiente realizando un doble recorrido por el área del captador, de esta manera se logra que el aire desecante que corre por el colector pueda calentarse más.

Los captadores solares de placa plana suspendida de doble paso incrementan la eficiencia del secado en un colector, lo cual les permite un mejor desarrollo en comparación con los de paso simple.

Un captador solar de doble paso, puede contribuir grandemente al proceso de secado en secaderos solares para productos agrícolas.

7.18.4 Captador de placa perforada

Figura 15: Captador solar de aire de placa plana perforada



Fuente: (Ekechukwu & Norton, 1999)

Son una modificación de los colectores de placa suspendida de simple paso. Consisten en una placa plana perforada con la que se consigue aumentar la transferencia de calor entre el aire y la placa absorbidora, disminuyendo las pérdidas térmicas al exterior y con ello, mejorará la eficiencia sistema. Se alcanza del orden de un 20% de mejora en la eficiencia respecto al colector convencional, sin embargo los costes para su fabricación aumentan considerablemente.

Este sistema incrementa la transferencia de calor dentro del mismo, pero para construirlo se incrementan los gastos de fabricación, siendo esta una desventaja al momento de seleccionar el captador de un secadero solar.

7.19 Parámetros de evaluación de secaderos solares

Balance de energía donde se ingresan los datos físicos y termodinámicos necesarios para realizar los cálculos del sistema.

$$\frac{dE_{vc}}{dt} = Q - w + \sum_e \dot{m}_e \left(h_e + \frac{1}{2} c_e^2 + g \cdot z_e \right) - \sum_s \dot{m}_s \left(h_s + \frac{1}{2} c_s^2 + g \cdot z_s \right)$$

Balance de masa donde se calculan la cantidad de producto a secar y la cantidad de humedad a extraer.

$$w_1 = \frac{m_{v1}}{m_{a1}} \quad w_2 = \frac{m_{v2}}{m_{a2}}$$

$$m_{a1} = m_{a2} = m_a$$

$$m_a \cdot h_{a1} + w_1 \cdot m_a \cdot h_{v1} - m_a \cdot h_{a2} - m_a \cdot w_2 \cdot h_{v2}$$

$$m_a (h_{a1} + w_1 \cdot h_{v1}) = h_1$$

$$m_a (h_{a2} + w_2 \cdot h_{v2}) = h_2$$

Flujo másico de aire.

$$m_{a1} = m_{a2}$$

$$\dot{m}_{v1} = m_w + m_{v2}$$

$$m_a \cdot w_1 = m_w + m_a \cdot w_a$$

$$\dot{m}_a (\Delta \omega) = \dot{m}_w$$

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{m}_w}{\Delta \omega}$$

Donde m_a , es la cantidad de masa de aire seco exterior necesaria para eliminar del café la masa de vapor de agua deseada \dot{m}_v . Siendo $\Delta\omega$ la variación de humedad que sufrirá el aire exterior debido al proceso de secado

El flujo másico de aire seco lo obtenemos mediante la relación del flujo másico de vapor de aire entre la variación de la relación de humedad.

Cantidad de aire que debe ser impulsada por los ventiladores

$$\dot{m}_{total} = \dot{m}_a + \dot{m}_{v1}$$

$$m_{total} = \dot{m}_a + \omega_1 \cdot \dot{m}_a = m_a(1 + \omega_1)$$

Los parámetros más significativos que influyen en el funcionamiento de un secadero solar son los siguientes:

➤ Características del aire de secado:

Temperatura, humedad relativa y caudal másico.

➤ Propiedades del producto a secar:

Cantidad total a manejar, contenido de humedad inicial y final, su tamaño y distribución.

➤ Variables dimensionales del dispositivo de secado:

Dimensiones físicas, configuración etc. (Ekechukwu O. , 1999)

Los parámetros de evaluación de secaderos permiten identificar debilidades en el sistema, por lo tanto brindar una oportunidad de mejora, al conocer las características del producto brindar un mejor manejo del mismo, también optar por la mejor configuración del sistema para lograr un mayor rendimiento en el secado.

Para diseñar un secadero de café se debe conocer muy bien la temperatura máxima que soporta este producto, también humedad que deberá alcanzar el producto a lo largo del proceso, cantidad de producto a secar y porcentaje de humedad a extraer del producto.

7.20 Parámetros físicos del secadero

En el diseño de dispositivos de secado se deben considerar aspectos de gran importancia como lo son el tipo de secadero, sus posibilidades de operación y los materiales de cada componente. Los calentadores solares de aire utilizan en general los siguientes materiales: para la superficie absorbadora, aluminio, cobre o acero galvanizado, liso o corrugado, pintado con algún material no reflectante de color negro, pinturas selectivas etc. Para la cubierta translúcida se utiliza vidrio o más habitualmente, algún material plástico comercial (metacrilato, policarbonato, polietileno, etc.) y como aislamientos, se emplean lana de vidrio, lana de roca o similares. En lo que refiere a la cabina de secado, los materiales son muy diversos, típicos de construcción (acero, madera, etc.) para las bandejas de producto se suele utilizar acero inoxidable o galvanizado (Ekechukwu & Norton, 1999).

El tamaño físico de un secadero es habitualmente un índice directo de su capacidad de secado y se refiere a la cantidad de producto que es posible secar en cada operación de carga, para unos requerimientos específicos de reducción de humedad. Para un dispositivo concreto, la capacidad de secado varía con el tipo de producto y cantidad de humedad a extraer, así como con el área del colector y el tamaño de la cámara de secado. También el área de bandeja y el número de bandejas disponibles de una medida indirecta de la capacidad de carga por tanto, serán variables necesarias a indicar en los secaderos de tipo cabina.

Por otro lado, la densidad de carga determinará la capacidad de un secadero, de un producto específico. Es importante no sobrecargar un secadero, ya que disminuirá la eficiencia del secado.

7.21 Tiempo de secado

La duración del proceso de secado es el parámetro más importante en la evaluación de un secadero, interesando evidentemente el menor valor posible. Se estima como el tiempo que transcurre desde que el secadero es cargado con el producto húmedo, hasta que el producto alcanza el contenido de humedad deseado, frecuentemente dado en horas o días, incluyéndose en este tiempo los períodos en los que no se dispone de radiación solar. Las variaciones del contenido en humedad del producto frente al tiempo marcan el tiempo de secado. Para secaderos de gran capacidad, es interesante chequear el tiempo de secado en diferentes localizaciones para controlar la uniformidad alcanzada (Corvolan R., Horn M., & Savaria L., 1995).

Para determinar el tiempo de secado de un proceso es necesario estimar el tiempo desde que se somete a secar un producto hasta que este alcance el nivel de humedad deseado, en el cual pueden influir directamente factores como temperatura, humedad relativa del ambiente y espesor del producto.

El tiempo de secado es el factor de mayor importancia en el proceso de café pergamino y en beneficio Sajonia S.A. se define el tiempo de secado desde que el lote de café es tendido hasta que se obtiene el nivel de humedad deseado para ser almacenado.

7.22 Caudal másico del aire

Es un parámetro muy importante en el control del proceso de secado. Con el aumento del flujo de aire disminuye la temperatura de proceso y se reducen las pérdidas. Sin embargo, la eficiencia del secado puede verse afectada negativamente debido a la posibilidad que el aire no esté el tiempo suficiente en contacto con el producto para provocar su desecación.

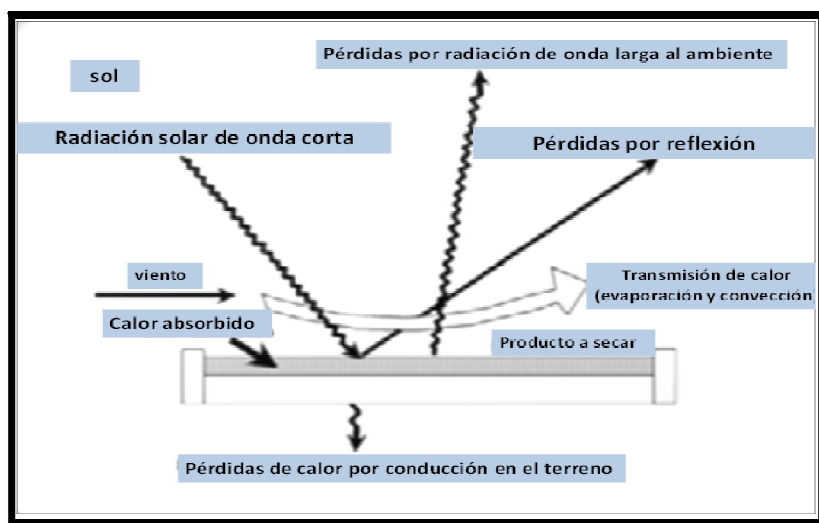
Por otro lado, un flujo de aire insuficiente generalmente produce un aumento de la temperatura del mismo, pero da lugar a una extracción de humedad más lenta. Se ha comprobado en productos agrícolas que aumentos del flujo de aire por encima de un nivel no producen un efecto significativo en el tiempo de secado. En general puede resultar positiva la utilización de flujos más altos al comienzo del proceso de secado y más bajos en el periodo de velocidad de secado decreciente.

7.23 Secado directo al sol

El objetivo del secado es la reducción del contenido de humedad de un material; bajo condiciones ambientales este proceso es muy lento. El propósito de un secadero es, precisamente, acelerar el mismo mediante la aportación de una mayor cantidad de calor, disminuyendo significativamente la humedad relativa del aire desecante e incrementando su capacidad de arrastre de humedad (Montero, 2005).

El secado natural o secado directo al sol (SDS), donde los productos se exponen directamente a la radiación solar colocándolos sobre el suelo o en dispositivos específicos es uno de los usos más antiguos de la energía solar, siendo aún el proceso más utilizado en países en vías de desarrollo para el secado de productos agrícolas (Tiwari, 2002).

Figura 16: Principio de trabajo del SDS



Fuente: (Coyuncu, 2005)

Según Tiris (1996) este es un procedimiento con muy bajo costo pero con diversas limitaciones, a saber: deterioro de los productos por las variaciones climatológicas (lluvia, viento, *rocío*), dificultad para el control del proceso, necesidades de terreno elevadas, largos tiempos de secado, degradación importante para el caso de productos alimenticios debido al contacto con polvo animales insectos u otros contaminantes.

Tabla 2: Desventajas del Secado Directo al Sol

	Desventajas del Secado Directo al Sol (SDS)
1	El proceso es lento debido a la elevada humedad en el ambiente
2	Muchas veces, los alimentos se secan mal, sobre todo los que contienen un alto porcentaje de agua, y se pudren o se enmohecen.
3	Los productos están expuestos al polvo, a insectos y otros animales que pueden deteriorar los alimentos y causar enfermedades al consumirlos.
4	En el caso del secado al Sol, se necesita una atención particular para proteger los alimentos de la intemperie (aguaceros, rocío)
5	La exposición directa de los alimentos a los rayos solares puede ser perjudicial en cuanto a su calidad (pérdida del color natural, destrucción de vitaminas y valor nutritivo), debido a la acción de los rayos ultravioletas

Fuente: (Almada, 2005)

7.24 Influencia del espesor del producto

El espesor del producto es uno de los parámetros internos más importantes en el estudio de los procesos de secado. Son muchos los autores que han analizado, en la cinética de secado en capa fina, la influencia del espesor con el tiempo de secado (Mwithiga & Olwal, 2005).

7.25 Beneficio Sajonia SA.

El beneficio Sajonia S.A. se encuentra ubicado en el Km 117 carretera Managua/Matagalpa. Situado en la comunidad de Quebrada Onda, ubicada en el municipio de Matagalpa. Lleva muchos años procesando café de calidad para exportación a grandes clientes internacionales.

En Sajonia S.A. se realiza el proceso de beneficiado seco, en el cual después que se recibe el café se envía a los patios para reducir su humedad, este proceso se realiza por tres métodos diferentes de manera tradicional, luego se almacena.

Se trilla el producto mediante maquinaria especial para trillado de café donde se cuenta con tres líneas de producción las cuales funcionan en el siguiente orden. Prelimpiadoras donde unas tolvas envían café y se extrae cualquier materia extraña luego se envía a la máquina de trillado, se envía a la clasificadora donde ésta máquina separa el café de acuerdo a su tamaño por medio de cribas, se transporta el café por medio de bandas hacia otra tolva que alimenta la maquina densimétrica (Oliver) ésta máquina clasifica el producto de acuerdo a su peso. Luego se envía al área de escogido donde manualmente se extraen granos defectuosos, también se cuenta con maquinas electrónicas para escogido, pero se prefiere realizar esta etapa de forma manual, luego el café es empacado y está listo para ser exportado en sacos o a granel.

7.25.1 Proceso de secado en el Beneficio

El café que ingresa al beneficio, puede ingresar en tres condiciones, mojado con un porcentaje de humedad mayor a 50%, húmedo entre 45-49% y oreado entre 39-44%. Por lo cual es necesario secar el café para poder almacenarlo adecuadamente. Actualmente se tiene tres formas de secado a sol en las cuales se realizan diferentes actividades durante todo el proceso y se utilizan diferentes materiales y recursos.

- Secado en patio de concreto.
- Secado en telones de polietileno negro o plástico negro.
- Secado en cajilla de madera y cedazo o zaranda.

7.25.1.1 Secado en patio de concreto o pilas

En este sistema de secado la capacidad de regado está determinado por el área en metros cuadrados en el cual se va regando el café de forma uniforme de acuerdo al manejo que se le quiera dar y al volumen de café regado. El beneficio Sajonia cuenta con 31 pilas de secado, cada pila tiene una capacidad de 290,32 quintales, aproximadamente 13168,7kg. con una dimensión de $40m^2$, en las 31 pilas con capacidad de 290.32 quintales hay una capacidad total de 9000 quintales.

7.25.1.2 Secado en telones de polietileno negro o plástico negro

Se coloca el telón o plástico en forma de plancha o forma lineal de dos telones en cada telón se depositará 2.25 quintales aproximadamente 102,06 kg de café. También existe el regado en camellones que consiste en regar determinado lote amontonado en forma lineal este último proceso solo sirve para orear café.

7.25.1.3 Secado en cajilla de madera y cedazo o zaranda.

Se va colocando aproximadamente ciento veinticinco libras en cada cajilla que están sostenida por reglones a una altura un metro del suelo. Este proceso se aplica especialmente a producto de primera calidad.

7.25.2 Recurso Humano




En el proceso de secado se involucra personal en diferentes áreas los cuales son los que permiten que se desarrolle este proceso, dentro de ellos se encuentran Recibidores, Auxiliares o Asistentes, Descargadores o estibadores, recolectores de saco y encargados de limpieza. En total labora un personal de 250 personas.




Mediante el proceso de secado directo al sol el personal trabaja arduamente sin descansar para poder optimizar y agilizar el proceso de secado, por lo cual se busca mediante un secadero solar aplicado al proceso de secado de café pergamino, disminuir el esfuerzo físico de todos los trabajadores.

7.25.3 Instrumentos y materiales utilizados

Las herramientas empleadas en el proceso de secado actual del Beneficio Sajonia son en su mayoría reutilizadas por varias temporadas lo cual permite maximizar su aprovechamiento entre las cuales se pueden mencionar:

 Telones
 Cajilla
 Rastrillo

 Paleta
 Chapaleta
 Palas

 Sacos
 Piedra de río
 Papelería y útiles

7.25.4 Producción Anual

La producción anual promedio de café pergamino que ingresa al beneficio para ser procesada y exportada es de 150,000 quintales por año, aproximadamente 7500t/año, cabe mencionar que se procesa un café de alta calidad, el cual requiere un tratamiento adecuado.

Todo el café que ingresa al beneficio se somete al proceso de secado durante los meses de octubre a febrero, que es cuando las fincas tienen listo su café para enviarlo a los beneficios secos.

7.25.5 Costos de producción

En el proceso de secado colabora un personal de 250 personas devengando un salario de \$155/mes, ósea un total de \$38750/mes. En el proceso de secado prácticamente la mano de obra es el costo principal, debido a que los instrumentos utilizados para realizar la operación en

muchos casos son artesanales por lo cual sus costos no son elevados, además estos son reutilizados para las diferentes temporadas.

Los materiales como los telones de plástico negro, y los sacos son adquiridos directamente por distribuidores y la empresa invierte alrededor de \$1500 dólares en dichos materiales, en cambio en los instrumentos como palas cajillas y paletas son elaboradas artesanalmente en carpinterías por lo cual la empresa invierte \$500 por temporada en diferentes instrumentos.

7.25.6 Eficiencia del proceso de secado actual

El proceso de secado de café en beneficio Sajonia SA. a como se describió anteriormente tiene muchas debilidades, una de ellas y más relevantes, es la exposición del producto a factores climatológicos, también a exposición de insectos, basura y demás cosas que puedan afectar la calidad del producto. Otro aspecto importante es el tiempo de secado, ya que este es muy extenso debido a que está en dependencia del clima, y en tiempo de lluvias el café se humedece incrementando el tiempo de secado y aumentando los costos de producción.

VIII. DISEÑO METODOLÓGICO

8.1 Ubicación geográfica

La presente investigación se realizó en el beneficio Sajonia S.A.

8.2 Tipo de investigación

Mediante el presente estudio de caso se valoró el proceso de secado de café pergamino en el beneficio Sajonia S.A. en el cual se tomo como base la objetividad y el comportamiento de las variables de estudio.

Éste estudio de caso es descriptivo porque se detalla el estado actual del proceso de secado de café pergamino y es de corte transversal porque que se tomaron datos en un tiempo y momento único.

8.3 Variables

Las variables estudiadas en la presente investigación son el proceso de secado, la temperatura, humedad, radiación solar, espesor del producto y tiempo de secado, los cuales son los principales factores que influyen en el proceso de secado de café pergamino.

8.4 Técnicas de investigación

Para la recopilación de datos se realizó una entrevista la cual se estructuró en base a preguntas abiertas referentes a los sistemas actuales de secado de café pergamino. Mediante observación científica en las diferentes etapas del proceso de secado se obtuvo información de cada uno de los conceptos o variables definidas en los objetivos del estudio. Para la obtención de datos meteorológicos se empleó el software ReTscreen.

8.5 Procesamiento de datos

La información obtenida con las técnicas de investigación anteriormente planteadas fue analizada y luego se crearon diagramas de barras en el programa Excel y para el diseño del secadero solar propuesto se elaboraron planos empleando el programa SketchUP 8.

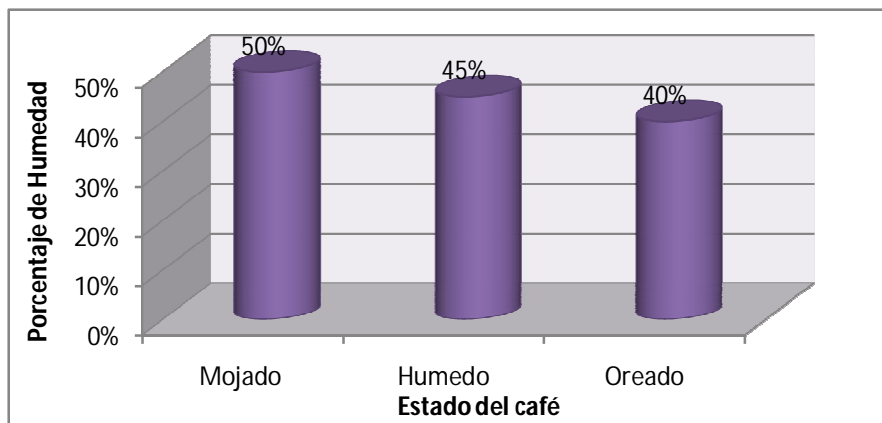
IX. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

9.1 Recepción del café en Beneficio Sajonia S.A.

El café que ingresa al beneficio debe ser inspeccionado por el encargado de recepción, al recibir el café se pesa en la báscula asignada para recepción de café, se caracteriza el producto, se documenta la información en el registro del beneficio y se autoriza la descarga.

Hay un responsable de recibir el producto, revisarlo y asesorarse que cumpla con los datos autorizados por la administración, como son, peso, calidad, estado, ya sea húmedo, oreado, o mojado y que el origen del lote sea del cliente descrito.

Gráfico 1: Estado del café



Fuente: Elaboración propia

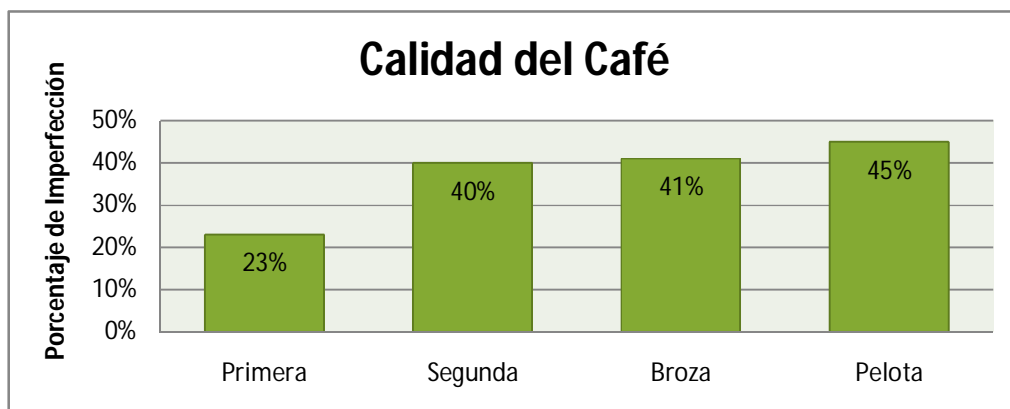
Mediante la gráfica anterior se puede apreciar las tres condiciones en que se recibe el café proveniente de las fincas, en base a su humedad se clasifica en: mojado, cuando el café presenta un porcentaje de humedad del 50% o más, húmedo con un 45% y oreado el 40% o menos. El tiempo que tardará en secar el café estará en dependencia del estado en que ingrese al beneficio.

Según (Jimenez, 2010) esta fase del proceso es de vital importancia para lograr una calidad uniforme y apta para la exportación, por lo tanto, se debe tener siempre presente lo beneficioso que resulta el mantener un estricto control en el recibo del producto de igual manera como se realiza en el beneficio Sajonia, un aspecto que influye positivamente en este proceso es recibir únicamente el café que se encuentre en condiciones óptimas, es decir, sin daños en el producto, además de separar el producto a diferente humedad.

9.2 Clasificación del café.

Para la clasificación del café que ingresa al beneficio, se toma una muestra del lote, luego se envía al departamento y control y calidad para que sea catado y analizado. En dependencia de las características del producto se puede clasificar en primera calidad, segunda calidad, broza y pelota.

Gráfico 2: Clasificación del café en base a su calidad



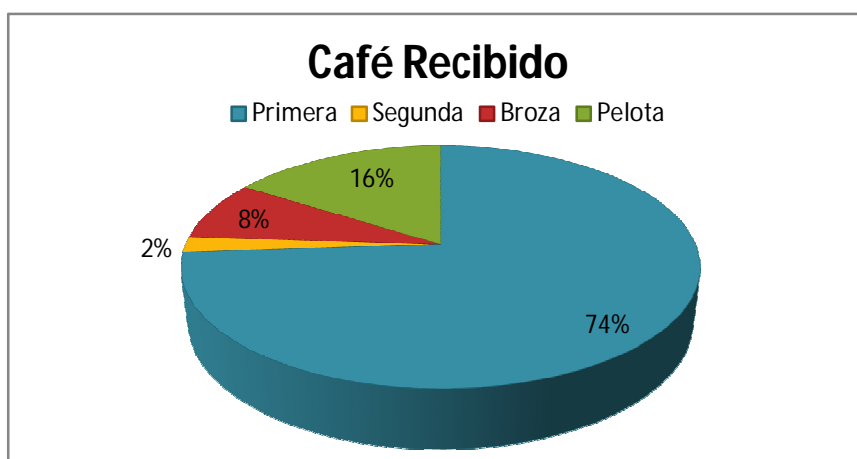
Fuente: Elaboración propia

En la grafica 2 se presenta la clasificación del café de acuerdo a su calidad, éste producto es clasificado en base al porcentaje de imperfección que posee, se denominan cuatro calidades: la primera permite hasta un 23% de imperfección, la segunda hasta un 40% de imperfección del producto, el porcentaje de imperfección que posee la broza es mayor al 41% y en último lugar la

pelota que es el producto donde el porcentaje de imperfección predomina con un 45% el cual no es apto para exportación por lo tanto es vendido a nivel nacional.

Para la clasificación del café se analiza la muestra tomada en recepción y se identifican los defectos que pueden ser encontrados en el grano, estos pueden ser pelados o quebrados, enfermos, manchados, rojizo, picados por insectos.

Gráfico 3: café recibido en base a su calidad en Sajonia S.A.



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3 se refleja el porcentaje de café que ingresa al beneficio anualmente, representando en primer lugar la primera calidad con un 74 %, seguido por la calidad inferior que es la pelota con el 16%, le sigue la broza con un 8% y en último lugar la segunda con un 2%, el hecho de que el café de primera calidad predomina es un buen indicador que permite al beneficio obtener mayores utilidades ya que éste es el café que será exportado.

9.3 Análisis del producto por parte del Departamento de Control de Calidad.

En esta etapa del proceso, se analizan las muestras tomadas de cada lote de café, se toma una muestra de 300 gramos y en estos se realiza un análisis de imperfección, se determina el grado de humedad del café: mojado, húmedo y oreado. Parte del análisis que realiza el departamento de control de calidad es la catación, con la cual se determina las propiedades del café, el catador

identifica el aroma, fragancia, dulzura, acidez y cuerpo del café donde se emplean tres tasas de la misma muestra empleando 12 gramos de café molido.

PRODECOOP (2011) plantea que el método utilizado para la catación de café debe mantenerse constante en cada muestra, empleando 12 gramos de café tostado y molido, en 250 ml de agua a 90 grados de temperatura. Donde se procede al análisis organoléptico que consiste en determinar varios aspectos tales como son: Fragancia, aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, balance, dulzura y taza limpia.

Lo planteado anteriormente concuerda con lo realizado en el beneficio Sajonia S.A. ya que en el área de control y calidad se realizan diferentes pruebas en el producto incluyendo test de humedad en las diferentes etapas del proceso de secado. Así también el proceso de catación en el cual se emplean métodos muy similares que según la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense del café oro se deben realizar para el análisis del producto de exportación así como a nivel nacional.

9.4 Estibado en recepción.

El café recibido y analizado se estiba de manera lineal un saco sobre otro con una altura de diez sacos como máximo con una separación de dos pie entre cada lote clasificado, el producto permanece estibado, mientras se prepara el lugar donde será tendido para ser secado, a la vez se digitalizan los datos del lote de café estibado para llevar un registro. Cuando se estiba fuera del edificio se pone como separador un plástico entre el suelo y el saco.

El beneficio cuenta con una capacidad de recepción de café de 3000 quintales, todo el café que ingresa diariamente puede ser estibado mientras se prepara el lugar donde será tendido. Dicha área de recepción se encuentra ubicada a 15 metros de la entrada al beneficio lo cual permite que los camiones que traen el producto puedan descargarlo cerca de la entrada. El tiempo máximo de

espera del producto en el área de recepción es de 24 horas debido a que el café entrante viene en estado mojado mayormente y debe ser enviado a los patios de secado lo antes posible.

Comparando con Fundación Nacional de Cafetaleros de Colombia (FNCC, 2010) el sistema de recepción de café difiere que en sus beneficios, el café pergamino que ingresa es ubicado en silos, lo cual es un factor que afecta el producto al no poseer el grado de humedad indicado. Éstos silos poseen una gran capacidad de almacenaje. Pero su debilidad es que al no poseer un grado de humedad homogéneo en todo el producto, los granos que se encuentran al fondo sufren daños organolépticos. Por lo cual se puede decir que el proceso de recepción de café en el beneficio Sajonia S.A. se realiza de manera que el producto pueda conservar su calidad.

9.5 Secado al sol.

Una vez que el café ha ingresado al beneficio se somete al proceso de secado para lograr que el producto alcance un 13% de humedad, para realizar este proceso se utilizan: pilas de concreto, telones de polietileno o plástico negro, o cajillas de madera. Este proceso es muy importante debido a que si se realiza de manera adecuada el producto podrá conservar su calidad, de lo contrario sufrirá daños por contaminación ambiental.

Al momento de hacer el tendido de café para secado se prioriza el café de primera calidad en las pilas de concreto ya que éstas brindan al producto una mayor protección, los telones de plástico negro son empleados cuando las pilas de secado no dan abasto, es decir al no haber más espacio en pilas de concreto para café de primera calidad se ubica sobre los telones de plástico negro. Las cajillas de madera son empleadas únicamente para pedidos especiales, para pequeños lotes que se quiere dar un cuidado especial.

El beneficio Sajonia capacita anualmente a todos los trabajadores involucrados en el área de secado y producción con el fin de que los trabajadores realicen su trabajo de manera eficiente

Gráfico 4: Procesos simultáneos en el secado

SECADO SOLAR	
PROCESO	EFEECTO
Transferencia de calor	Transfiere calor del agente desecante al producto
Transferencia de masa	Leva la humedad del interior del producto hacia la superficie y de la superficie hacia el aire de los alrededores

Fuente: Elaboración propia

Según Berrueta (2004) el secado en el proceso del café es un momento crítico; de él depende enormemente la calidad y la venta de este producto, mediante la transferencia de masa se retira el agua de la superficie del café por evaporación del agua al traspasarla al ambiente.

De igual manera en el proceso de secado en Sajonia S.A se realiza exponiendo el los granos d café pergamino al sol, mediante la transferencia de masa se extrae la humedad contenida en el café, por lo cual el producto permanece en los patios durante un tiempo de 7 a 10 días, hasta alcanzar el 13% de humedad, cabe mencionar que los factores climatológicos inciden directamente en este proceso. De manera que en invierno el café puede permanecer en los patios de secado por un tiempo mayor a 15 días.

9.6 Secado en patio de concreto o pilas.

Gráfico 5: secado de café en pilas de concreto



Fuente: Beneficio Sajonia S.A

En este sistema de secado los trabajadores realizan el tendido de café sobre pilas de concreto, la capacidad de regado está determinado por el área en metros cuadrados. Se cuenta con 31 pilas de secado con una dimensión de 40 , cada pila tiene una capacidad de 290,32 quintales, aproximadamente 13168,7 kg. Por lo cual la capacidad total para de car café mediante pilas de concreto es de 9000 quintales. Mediante este método se procura secar el producto de primera calidad, debido a que es un método que brinda mayor seguridad al producto. Al emplear este sistema los trabajadores deben remover el café cada hora, con el fin de que el proceso de secado sea homogéneo.

Las pilas de concreto para secar café brindar una mayor protección al producto ya que son estables y ayudan a conservar las propiedades organolépticas del producto

9.7 Secado en telones de polietileno negro o plástico negro.

Gráfico 6: Secado de café en telones de plástico negro.



Fuente: Beneficio Sajonia S.A

Los trabajadores colocan el telón o plástico en forma lineal, en cada telón se depositan 102kg de café equivalentes a 2.25 quintales. También existe el regado en camellones que consiste en regar determinado lote amontonado en forma lineal, este último proceso solo sirve para arear café. En este proceso al igual que en el tendido en pilas de concreto los trabajadores deben remover el café cada hora para lograr que el proceso sea homogéneo.

Comparando con Fundación Nacional de Cafetaleros de Colombia (FNCC, 2010) al secar el café empleando telones de plástico negro se envuelve cierta masa de café con un telón, luego se abre, esto se realiza con los siguientes propósitos: homogenizar la humedad del café, efecto adverso del ambiente o clima y también se realiza cuando el producto está en su punto final de secado

El proceso es de secado de café pergamino mediante telones de plástico negro es muy utilizado a nivel nacional, el proceso es muy similar al de las pilas de concreto, pero es un poco deficiente ya que el producto no está sobre una base estable, también el producto queda mayormente expuesto a polvo e insectos lo cual le brinda una seguridad inferior en comparación con las pilas de concreto.

9.8 Secado en cajilla de madera y cedazo o zaranda.

Gráfico 7: Secado de café en cajillas de madera.

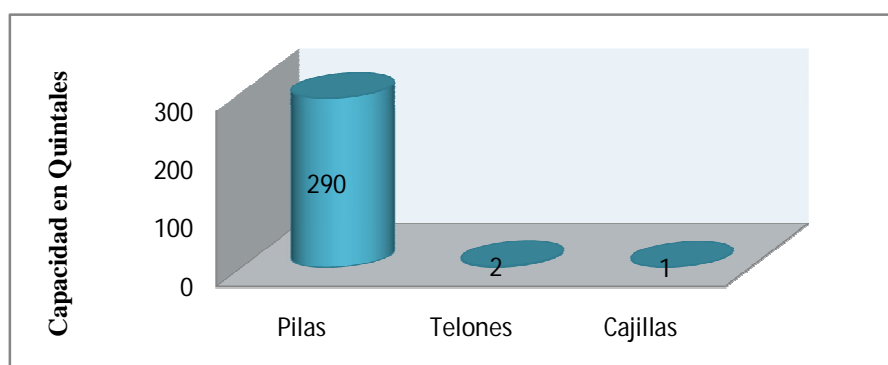


Fuente: Beneficio Sajonia S.A

Este sistema es empleado solo para pedidos especiales, es decir, muestras de gran importancia que necesitan un cuidado superior en comparación con los otros dos sistemas de secado, los trabajadores colocan aproximadamente ciento veinticinco libras en cada cajilla que están sostenidas por reglones a una altura de un metro del suelo. Estas cajillas para secar café están elaboradas con madera, poseen una zaranda en la parte inferior lo cual permite el secado eficiente del café.

Este método es muy seguro y eficiente, pero al poseer una capacidad muy reducida provocaría cuellos de botella, por eso solo se someten pequeños lotes y así brindar un cuidado especial.

Gráfico 8: Capacidad de los sistemas de secado



Fuente: Elaboración propia

El gráfico 8 refleja la capacidad de los diferentes sistemas de secado al sol, observándose que las pilas de concreto tienen un mayor aprovechamiento y capacidad de 290.32 quintales, en telones de polietileno o plástico negro poseen una capacidad de 2.25 quintales y las cajillas de madera 1.25 quintales, estos últimos métodos son menos utilizados.

El beneficio cuenta con 31 pilas de secado cada una con capacidad de 290.32 quintales, generando una capacidad total de secado es 9000 quintales, se cuenta con 320 cajillas de madera cada una posee una capacidad de 1.25 quintales generando una capacidad total de 400 quintales, mientras que con los telones de plástico negro no hay un dato exacto debido a que éste método se emplea cuando las pilas de secado están llenas, y los telones se encuentran almacenados y son utilizados cada vez que se necesitan. Por lo antes mencionado se puede decir que las pilas de secado poseen la capacidad suficiente para secar todo el café de primera calidad el cual es el que predomina en el beneficio, sin embargo, en temporadas altas todos los días ingresa grandes cantidades de café el cual debe ser secado y se recurre a los telones de plástico negro utilizando grandes superficies para poder cubrir las necesidades de secado del beneficio.

9.9 Muestreo para determinar humedad.

Gráfico 9: Determinador de humedad



Fuente: Beneficio Sajonia S.A

Este proceso se realiza de dos maneras la primera es de forma visual, el trabajador está removiendo y supervisando el tendido de café y la segunda se realiza colocando una muestra en el identificador de humedad ubicado en el laboratorio de catación.

Al realizar este proceso de manera visual el supervisor del proceso de secado toma una pequeña muestra de unos 50 gramos y empírica y sensorialmente da su punto de vista del grado de humedad de posee el producto tendido, pero a su vez el departamento de control de calidad se encarga de tomar una muestra de 300 gramos de café, por cada lote tendido para realizar pruebas de humedad. Este muestreo por parte del departamento de control y calidad se da en los tres métodos de secado, se toma la muestra de 300 gramos y se introduce al probador de humedad para la determinación del grado de humedad hasta que este alcance el nivel indicado.

Según (Rivas, 2008) la Norma Técnica Nicaragüense de muestreo de granos comerciales emplea como guía para tomar una muestra de café para el laboratorio un máximo de 500 gramos para el análisis físico-químico y húmedo, en cambio en el beneficio Sajonia se emplea 300 gramos lo que indica que las muestras tomadas para realizar estas pruebas son las adecuadas.

9.10 Almacenamiento del café en bodegas

Al finalizar el proceso de secado en los patios del beneficio, se procede a almacenar el café para luego ser trillado, para que el café pueda ser almacenado debe cumplir con los estándares establecidos en el beneficio, primeramente, debe poseer humedad de 13%, tener un color uniforme, característico del café pergamino fresco el cual ha sido correctamente secado, libre de olores extraños al café, además debe estar libre de todo insecto, hongos, contaminantes o cualquier tipo de impurezas.

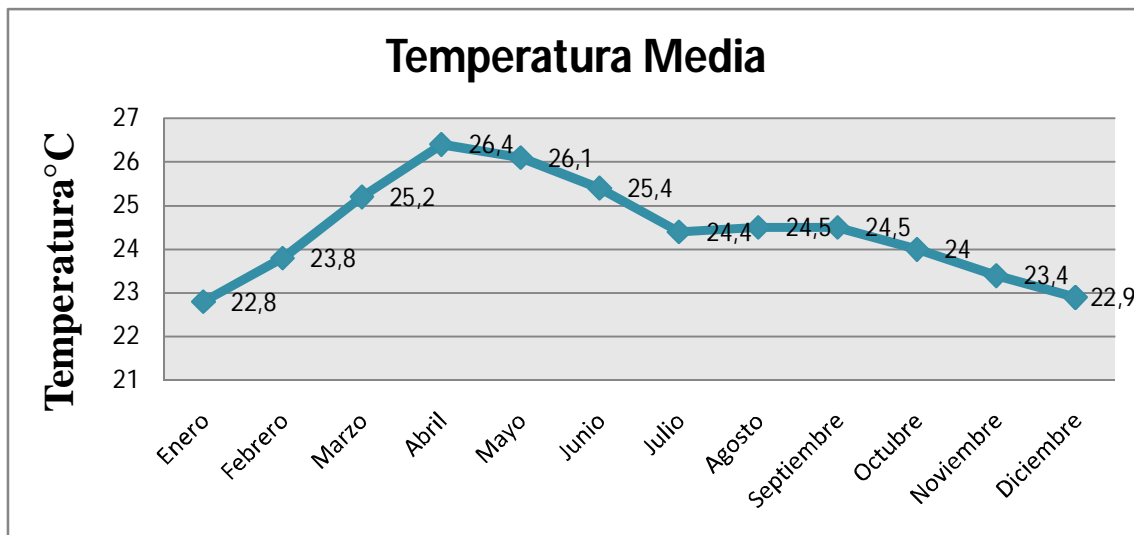
El beneficio Sajonia S.A. cuenta con una capacidad total de almacenamiento de 110,000 quintales, pero se encuentra dividida en dos áreas, la primera son almacenes los cuales han sido estructurados específicamente para conservar el producto mientras se da la orden de trillado el cual posee una capacidad de 60,000 quintales, la segunda área de almacenamiento fue diseñada

con una capacidad de 50,000 quintales, los cuales se encuentran ubicados bajo una estructura metálica al aire libre. Pero en ambas áreas de almacenamiento el producto está debidamente estibado de acuerdo a las normas establecidas en el beneficio sobre polines de madera para evitar humidificación. Por lo que se puede decir que el almacenamiento de café en bodegas se realiza de manera satisfactoria ya que el beneficio brinda la capacidad de almacenamiento para el producto en estructuras debidamente equipadas. Pero en caso de que el beneficio quiera procesar anualmente una cantidad de café superior deberá ampliar las áreas de almacenamiento.

9.11 Temperatura

Se empleó el programa ReTScreen, para obtener los datos exactos de la temperatura con la media anual del aire en la ciudad de Matagalpa ya que es el dato más cercano al beneficio Sajonia S.A. por lo cual la variación de temperaturas es mínima, la cual es de 25°C, lo cual es un indicador de que el proceso de secado pueda realizarse de manera eficaz mediante los métodos de secados anteriormente descritos.

Gráfico 10: Temperatura media en Matagalpa.



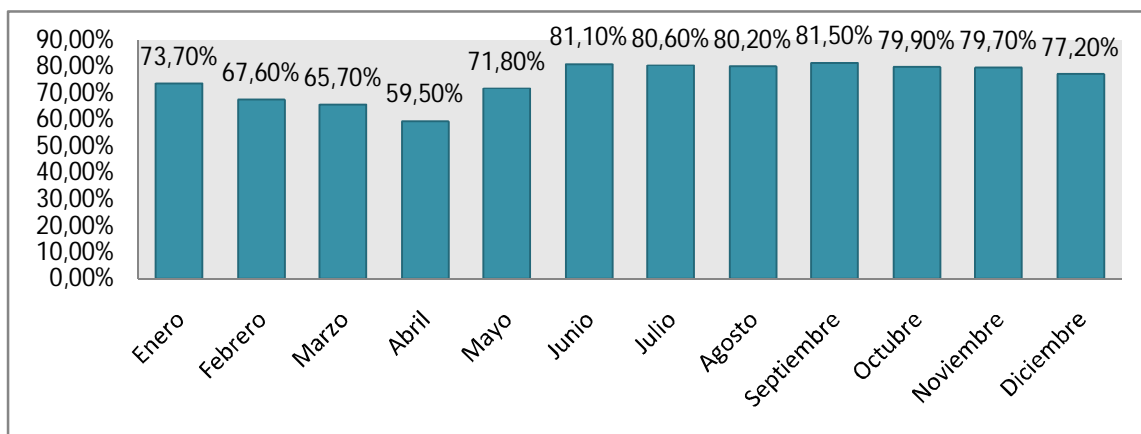
Fuente: Elaboración propia

La gráfica 10 de temperatura media muestra la variación de temperatura en el Municipio de Matagalpa a lo largo del año, presentando las temperaturas más elevadas en los meses de mayo y junio alcanzando temperaturas hasta de 26.4°C, mientras que en los meses de diciembre y enero bajan las temperaturas hasta 22.8°C.

La temperatura del aire tiene gran importancia en todas las etapas del proceso de secado. Un aumento de temperatura favorece el movimiento del agua libre y aumenta notablemente el ritmo de difusión de humedad, es decir a mayor temperatura menor será el tiempo de secado. En el proceso de secado de café pergamino en Sajonia S.A el tiempo de secado promedio es de 7 a 10 días mientras que si la temperatura fuera mayor el tiempo de secado disminuiría considerablemente.

9.12 Humedad Relativa del ambiente

Gráfico 11: Humedad relativa en Matagalpa.



Fuente: Elaboración propia

La humedad relativa también fue tomada mediante el programa RETScreen, se refleja una humedad relativa anual de 75%, en la gráfica se refleja el comportamiento de la humedad relativa en el transcurso del año en la cual el valor más bajo es en abril con un 59.5% y el valor más alto se encuentra en septiembre con 81.50%.

La humedad relativa al igual que la temperatura posee un efecto sobre el proceso de secado de café pergamino ya que al ser mayor la humedad relativa se dificulta el proceso de extracción de agua contenida en el producto debido a que el aire ambiente se encuentra saturado retrasando el proceso de secado. Por lo que se puede decir que la humedad relativa en el proceso de secado de café pergamino en Sajonia S.A. permite que se realice el proceso de deshumidificación, pero si ésta fuera más baja se podría reducir los tiempos de secado en los diferentes métodos de secado empleados.

9.13 Espesor del producto

El espesor del producto es un factor de gran importancia en el proceso de secado, ya que de este dependerá que el café pueda secarse en menor tiempo y de manera homogénea, en el beneficio Sajonia el tendido de café se realiza dejando un espesor de 12cm en las pilas de concreto y en los telones de plástico, en las cajillas de madera se trabaja hasta con 18cm de espesor lo cual dificulta un poco el proceso.

Al emplear un espesor de producto elevado se incrementa la capacidad de secado, pero esto afecta directamente la velocidad con que este producto disminuirá su porcentaje de humedad, por lo que es recomendable reducir el espesor del producto, de esta manera el café podrá secarse en menor tiempo, y garantizar que la disminución de humedad sea homogénea.

9.14 Tiempo de secado

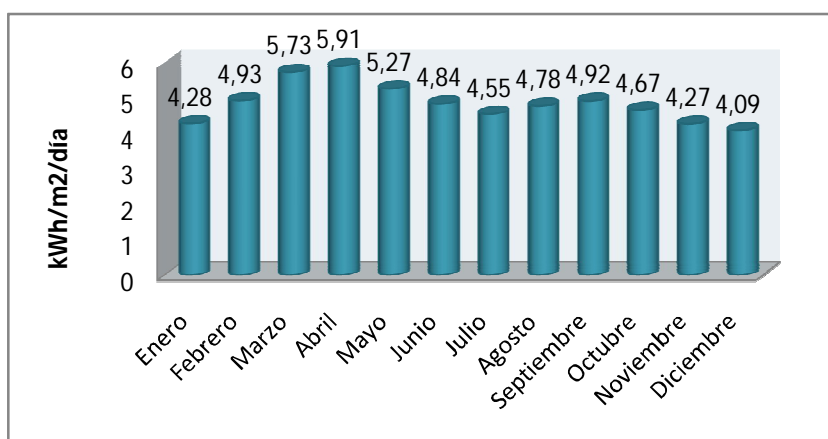
El tiempo de secado de café pergamino en el beneficio Sajonia tarda de 7 a 10 días, esto va en dependencia de las condiciones climatológicas, los trabajadores deben mover el café tendido al cada hora, es decir, durante la jornada de trabajo se remueve el café alrededor de 8 veces, esto se hace con el fin de homogenizar el proceso de secado, también se debe estar preparado ya que en caso de lluvia se debe cubrir el producto con plástico negro para evitar que se moje.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2013) el secado de café pergamino puede requerir de 8 a 10 días, esto ira en dependencia de la temperatura y la humedad predominante del lugar de secado. Lo que indica que el tiempo de secado en el Beneficio Sajonia S.A. esta dentro del rango de tiempo de secado.

Según Jiménez (2010) el secado al sol ha sido tradicionalmente valorado como el mejor método para el secado a punto del café, por una serie de ventajas que se le atribuyen en términos de la calidad que adquiere el grano. Entre estos atributos sobresalen el característico color verde azulado de los cafés arábigos, el olor característico del café en verde, las características de taza en las que se aprecia una mayor definición del perfil. Sin embargo, los tiempos de secado son muy prolongados lo cual puede ser un problema dependiendo de las cantidades de café por secar y la disponibilidad de patios que se tenga, pero en Sajonia esto no es una debilidad ya que se cuenta con los patios de secado suficiente para dar abasto a todo el producto que ingresa para ser procesado.

9.15 Radiacion solar

Gráfico 12: Radiación solar media en Matagalpa



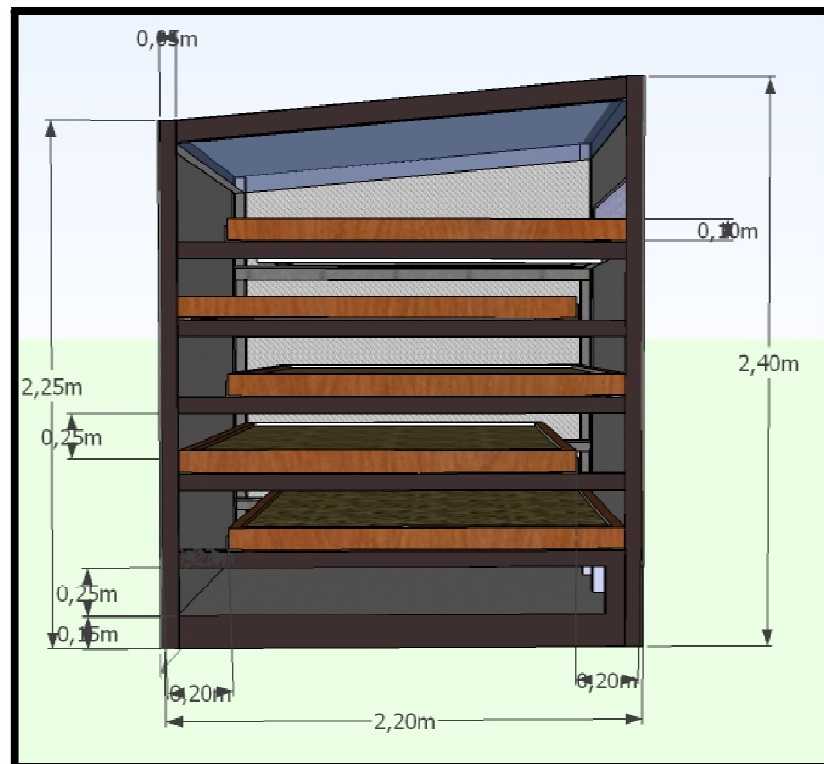
Fuente: Elaboración Propia.

La gráfica 13 de radiación solar media presenta la variación de la radiación solar en el municipio de Matagalpa a lo largo del año, presentando el valor más alto en el mes de abril el cual es de 5.91 y su valor más bajo en el mes de diciembre de 4.09. Cabe mencionar que la radiación solar es la energía emitida por el sol y permite que el proceso de secado pueda desarrollarse de manera eficaz ya sea mediante el método de secado actual en los patios o empleando nuevas tecnologías.

En lo que respecta al secado solar, la caracterización de la radiación solar disponible en el lugar resulta fundamental para el control del proceso por lo cual se debe llevar un control detallado de la radiación solar. En el proceso de secado de café pergamino en beneficio Sajonia S.A. la radiación solar juega el papel más importante ya que el café es tendido sobre pilas de concreto o telones de plástico negro para disminuir el porcentaje de humedad mediante ondas electromagnéticas recibidas del sol, de acuerdo a la posición geográfica de nuestro país podemos obtener un buen porcentaje de radiación solar a lo largo del año aunque en algunos meses es más bajo que otros pero se puede dar aprovechamiento de este recurso y actualmente se obtiene un efecto positivo ya que se logra realizar el proceso de secado naturalmente.

9.16 Prototipo de secadero

Gráfico 13: Diseño del secadero solar



Fuente: Elaboración Propia

Se dimensionó un prototipo de secadero solar aplicado al proceso de secado de café pergamino en el beneficio Sajonia S.A. con una capacidad de secado de 453.6kg/día. Para lograr optimizar un proceso de secado de café pergamino tomando en cuenta los diferentes factores físicos y económicos se realizó una propuesta de un secadero solar activo de tipo integral o directo, para el proceso de secado de café.

Para cubrir en su totalidad las necesidades de secado de café pergamino en el beneficio se debería secar 45,000kg/café/día, para lograr esto se necesitarían invertir un capital muy elevado, por lo cual se propone un secadero de café a menor escala, con el fin de que pequeños lotes de café puedan ser procesados mediante el secadero propuesto.

Para la elección del diseño del secadero se analizaron los diferentes factores que intervienen en el funcionamiento del mismo así como las propiedades del producto a secar. Una de las principales razones por las que se propone este modelo es la viabilidad económica, otros modelos como el distribuido y el mixto requieren un costo de construcción y mantenimiento son muy elevados. El modelo planteado no posee colector ya que para la cantidad de aire que debe entrar al sistema las dimensiones que debería poseer son extremadamente altas, también no se adapta una chimenea al sistema ya que éste constara con ventiladores que se encargaran de impulsar la cantidad de aire requerida.

Se propone un secadero solar activo del tipo directo, con una capacidad de 453.6 kg/día, es decir, 1000 lbs. /día. Cuenta con 5 bandejas con una dimensión de 2m x 1.5m con capacidad de 90.72kg cada una, en los materiales de la estructura diseñada se emplean angulares de 1/8 para las bases, y angulares de 1/16 los cuales sostendrán las bandejas, las cuales están elaboradas de madera empleando una malla acerada para evitar corrosión ya que el producto a tratar debe tener el mejor cuidado posible para no contaminarse con olores y las paredes del prototipo serán de zinc liso.

Como se muestra en el gráfico 14 el diseño del secadero, tendrá una altura de 2.25 m en la parte delantera, 2.40 m en la parte trasera, el largo será de 2.20 y el ancho de 1.5, mientras que las bandejas poseerán una medida de 2m de largo por 1.5 de ancho, con una altura de 0.1m lo cual permitirá que el café introducido no se salga de las bandejas.

El secadero diseñado en el presente estudio de caso pretende trabajar con cuatro ventiladores, ellos tendrán la tarea de impulsar el aire desecante dentro del secadero para poder alcanzar un grado de saturación y así extraer la humedad del producto antes mencionado.

Se necesita extraer 167.8 kg de agua contenida en el café, por lo cual mediante el flujo de aire constante por los ventiladores, se logrará secar el café deseado en 24 horas, dichos ventiladores se encuentran ubicados en la parte trasera del secadero. La cubierta traslúcida permitirá que la radiación solar incida en el secadero incrementando la temperatura del mismo, acelerando el proceso de secado.

En las bases del secadero se encontrará un aislante el cual primeramente tendrá una capa de piedras de río, luego estará cubierto por una placa metálica, logrando así no afectar el flujo másico de aire.

Para que el secadero propuesto pueda desempeñar su función se han realizado los siguientes cálculos.

Primer proceso:

Adiabático dado que primeramente el sistema no intercambiara calor con el fluido

- Estacionario: $\frac{d}{dt} = 0$
- Adiabático: $Q = 0$
- ΔEc e ΔEp : despreciados

Segundo proceso: Isoentálpico $h_1 = h_2$

Esta segunda fase es provocada por la relación entre la temperatura y la relación de humedad, de acuerdo a las leyes termodinámicas la entalpía permanecerá constante hasta llegar a un grado de saturación y es donde el sistema intercambiara calor con el fluido.

Balance de masa

La humedad relativa es de $\phi=75\%$, la temperatura media anual es de 25°C la humedad específica inicial está dada por $\omega_1=0.020$ mientras que la humedad específica final está dada por $\omega_2=0.022$

El flujo másico de aire seco lo obtenemos mediante la relación del flujo másico de vapor de aire entre la variación de la relación de humedad.

$$\dot{m}_a = \frac{167.8 \text{ kg/dia}}{(0,017 - 0,015)}$$

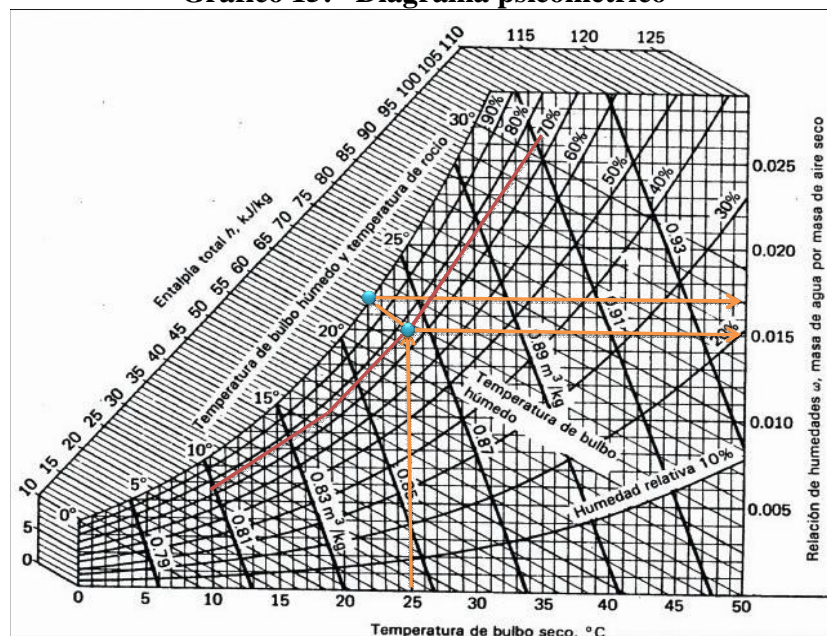
$$\dot{m}_a = 0.97 \text{ kg/s}$$

Donde la masa total de aire que deberá ser impulsada por los ventiladores está dada por:

$$m_{total} = m_a \cdot (1,015)$$

$$m_{total} = 0.98 \text{ kg/}$$

Grafico 15: Diagrama psicrométrico



Fuente: (Moran & Shapiro, 2004)

Mediante el prototipo de secadero propuesto se pretende acelerar el tiempo de secado de café pergamino ya que actualmente un lote de café permanece en los patios de secado de 7 a 10 días mientras que con el secadero propuesto se pretende secar 1000 libras de café diaria, un aspecto relevante es que con este secadero propuesto el café pueda ser secado sin maltratar el grano, es decir el método de secado actual provoca el 5% de pérdidas por café deteriorado por mal manejo y con el modelo propuesto se pretende disminuir el porcentaje de pérdidas.

Cabe mencionar que al secar café en secaderos solares se evita que el producto este expuesto a polvo basura diferentes insectos etc. Además que en temporadas lluviosas se reduciría el riesgo de que el café vuelva a mojarse.

X. CONCLUSIONES

Se acepta la hipótesis 1 ya que en las diferentes etapas del proceso de secado de café pergamino en el beneficio Sajonia S.A. se realiza cada operación por personal capacitado el cual debe desempeñarse cumpliendo las normas establecidas en el beneficio para alcanzar un nivel de calidad aceptable para ser exportado.

Los parámetros que intervienen en el proceso de secado de café pergamino en el beneficio Sajonia S.A. son: temperatura, humedad, radiación solar, y espesor del producto, siendo el porcentaje de humedad el criterio para decidir cuando está listo un lote de café para ser almacenado, por lo que se acepta la hipótesis 2

XI. RECOMENDACIONES

Que se realice la construcción del secadero propuesto, tomando en cuenta todos los aspectos planteados anteriormente, el cual cuenta con un diseño activo del tipo integral, empleando ventiladores y una cubierta translúcida.

Realizar un estudio del secadero con aporte total de radiación solar diseñando las paredes del mismo de un material traslúcido para alcanzar mejores resultados en el tiempo de secado.

Que las instituciones del estado promuevan la tecnología de energías renovables, especialmente en el área rural, donde los productores de café puedan emplear secaderos solares, ofrecer un mayor servicio y puedan beneficiar familias de escasos recursos económicos.

XII. BIBLIOGRAFÍA

- Abdala Rodríguez, J. L., Fonseca, S., Pantoja, J., & Gen, A. (2003). Secado de café pergamino en secadores solares. En C. d. Solar, *TECNOLOGÍA QUÍMICA Vol. XXIII, No. 3* (pág. 10).
- Almada, C. P. (2005). *Guía de uso de secaderos solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes*. Asunción, Paraguay.
- Alonso, L., & Hernández, L. (2006). *Como crear ventaja competitiva desde un enfoque de Dirección Estratégica. Tesis licenciatura*. Puebla: Universidad de las Americas Puebla.
- Altamirano Flores, C. (2007). *Propuesta de mejora para el proceso de Casos de Estudiante de licenciatura de la UDLA a través de la aplicación del modelo de conversión del conocimiento. Tesis Licenciatura. Administración de Empresas*. Puebla, México: Universidad de las Americas.
- Aragón Sanchez, A., & Rubio Bañón, A. (2005). *Factores explicativos del éxito competitivo: El caso de las PYMES del estado de Veracruz*. Murcia, España: Universidad de Murcia.
- Ariela. (2009). *Desing of a solar Dry for fruits*.
- Armas Noda, G., & Artilles Visbal, S. (2009). Propuesta de una herramienta diagnóstico para evaluar la comprensión de la Gestión de la información y el conocimiento en la empresa en perfeccionamiento. *Ciencias de la información, Vol.4(No.3)*.
- Aserca. (2008). *Mercado Internacinal del Cafe*.
- Avene, A., Dubosis, B., Le Ray, M., & Ouguagued, A. (2004). Study of a solar air flat plate colector: use of obstacles and application for the drying of grape. *Journal of food engineering Vol 65 no. 1*, 15-22.
- Blanco Cano, L. (2011). *Caracterización, diseño y construcción del colector de un secadero solar en Nicaragua*.
- Berrueta. (2004). Aprovechando el sol para secar mejor nuestro café: desarrollo de una tecnología apropiada. *Agroecology*.
- Besterfield, D. H. (2009). *Control de Calidad, Octava Edición*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Blanco Galvez, J. (2002). *Desarrollo de colectores solares CPC para aplicaciones fotoquímicas de degradación de contaminantes persistentes en agua*. Almeira: CIEMAT.
- Bueno Campos, E. (1996). *Organización de empresas. Estructura, procesos y modelos*. Madrid: Piramide.
- Bloomberg New Energy Finance. (INE). (18 de Junio de 2012). Generación actual de la energía en Nicaragua. *LA PRENSA*.
- Centro de Trámites y Exportaciones (CETREX). (2002). Managua Nicaragua.

- Café el Faro. (25 de marzo de 2010). *Café el Faro*. Recuperado el 25 de octubre de 2012, de <http://www.cafeelfaro.com/variedadescafe.html>
- Café Marcala. (2010). *Secadoras Solares*. La Paz, Marcala, Honduras.
- CAMIPYME . (12 de Enero de 2010). Directorio MIPYME Matagalpa. Matagalpa, Matagalpa, Nicaragua.
- CAMIPYME. (2008). *Caracterización del sector MYPIME del departamento de Matagalpa*. Matagalpa.
- Castillo Pérez, N., & Rodríguez Aguirre , C. (2003). *Análisis y propuesta de una técnica de administración del conocimiento útil para la empresa Telas Parras S.A. Tesis Licenciatura. Administración de Empresas*. Puebla, México: Universidad de las Americas, Escuela de Negocios.
- Castillo, R. M. (2002). *La pulpa del café*. Cuba.
- Celestina Perez de Almada. (2005). *Guía de uso de secaderos solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes*. Asunción, Paraguay.
- CER-UNI. (1998). www.solucionespracticas.org.pe. Recuperado el 19 de octubre de 1998, de soluciones Practicas, tecnologia desafiando la pobreza: <http://www.solucionespracticas.org.pe/fichastecnicas/pdf/FichaTecnica13-Secado%20solar.pdf>
- Chávez, J. (2000). *Secado solar*. Lima.
- Clarke, R. (1985). *Coffee Chemistry Vol I*. Gran Bretaña.
- Corvolan R., Horn M., & Savaria L. (1995). *Ingeniería del Secado Solar*. CYTED-D.
- COSEP-CNR. (2011). *Pequeñas y medianas empresas en Nicaragua: Situación y Desafíos en el siglo XXI*. Managua, Nicaragua: Universidad Americana.
- Coyuncu, T. (2005). An investigation on the performance improvement of greenhouse type agricultural dryers. *Renewable Energy*.
- Deming, W. E. (1988). *fuera de la crisis*.
- Duarte, Y. A. (2003). *Caracterización física del café semitostado*. Bogotá.
- Ekechukwu, O. (1999). Review of solar Energy drying sistem I: an overview of drying principles and theory. En *Energy Conversion and Management* (págs. 593-613).
- Ekechukwu, O. (1999). *Review of solar Energy drying SistemI: an overview of drying principles and theory*.
- Ekechukwu, O., & Norton, B. (1999). En *Review of solar-energy drying sistem II-energy conversion and management* (págs. 615-655).
- Microsoft Encarta . (2009). *Definición de Café*. Madrid.
- Estrada, S., & Dutrénit, G. (diciembre de 2007). Gestión del conocimiento en PYMES y desempeño competitivo. *ENGEVISTA*, V.9(n.2), 129-148.

- FEDERACAFÉ. (2009). *secado del café y sus defectos*.
- FNCC, F. n. (2010). *Aspectos de calidad del café para la industria torrefactora nacional*. Colombia.
- Fuentes Morales, B. (2009). *La gestión del conocimiento en las relaciones académico empresariales. Un nuevo enfoque para analizar el impacto del conocimiento académico. Tesis doctoral*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de organizacion de empresas, economía financiera y contabilidad.
- FUNDIBEQ. (2003). *Gestión del Conocimiento*. Cartagena: Fundacion de la Calidad.
- García Gonzales, F. (2004). *Gestión del a información y el conocimiento para la competitividad de PYMES, como área de oportunidad en la educacion superior*. La Habana, Cuba: Instituto de Información Científica y Tecnológica .
- Giovannone, P. (2003). *Como mejorar la competitividad de las Pymes. Teoria puesta en práctica*. La Plata, Argentina: U.T.N. Facultad Regional de la Plata.
- Gutiérrez V., A. (2011). *Metodología de implantación de modelo de Gestión del Conocimiento Soportado por una Herramienta de Trabajo Aprendizaje Colaborativo*. Maracaibo, Venezuela: FUNIBER.
- Gutierrez, F. (2008). *Metodologias para la construccion de ventiladores centrifugos para el secado de cafe en talleres rurales*. . Pereira: Cenicafe.
- Gutierrez, J. M., Sanz, J. R., Oliveros, C. E., & Orozco, C. A. (2009). *ventiladores para Secadores de Cafe*. Colombia: Fondo Nacional Del Cafe.
- Hernández Muñoz, M. (2010). *Propuesta del Modelo de Gestión del Conocimeinto para la Gerencia de Gestión Documental y Centros de Servicios Compartidos del Grupo Bancolombia Medellin. Monografía*. Medellín: Universidad de Antioquia, Escuela Interamericana de Bibliotecologia.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). *Metodología de la investigación Cuarta edición*. México D.F. México: McGraw Hill Interamericana Editores. S.A. DE C.V.
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). *Metodologia de la investigacion. Cuarta Edicion*. Mexico DF.: McGraw Hill Interamericana Editores. S.A. DE C.V.
- Hernández, R. (2001). *Elementos de competitividad sistémica de las PYMES del istmo centroamericano*. Mexico.D.F.: Publicaciones Naciones Unidas.
- INETER, I. N. (1995). *Datos climatologicos*. Managua-Nicaragua.
- infoagro. (18 de octubre de 2012). *infoagro.net*. Recuperado el 7 de octubre de 2010, de infoagro.net: infoagro.net
- Jimenez. (2010). *Manual de buenas practicas de manufactura en el beneficio bio café oro de Tarrazú S.A*. San Marcos.
- Kern, D. (1999). *Procesos de transferencia de calor*. Mexico: continental SA.

- Knuele, F. (1982). *El secado*. Bilbao: Urmo S.A.
- Laguna, J. (2010). *MANUAL DE FUNCIONES*. Matagalpa.
- Laguna, J. (7 de September de 2012). *Proceso de Secado Baneficio Sajonia SA*.
- Leon, M., Kumar, S., & Bjhattacharya, S. (2002). A Comprehensive procedure for performance evaluation of solar food dryers. En M. A. Leon, S. Kumar, & S. Bjhattacharya, *Renewable and sustainable Energy Review Vol 6* (págs. 367-393).
- Loperena, E. R. (2008). "Cafeína: un psicoestimulante light, benefactor de adicciones mayores ". *TURevista Digi.U@T Vol 3*.
- Martinez León, I., & Ruiz Mercader, J. (2003). *Diseño de una escala para medir el aprendizaje en las organizaciones*. Salamanca, España: Asociación Científica de Economía y Dirección de la Empresa (ACEDE).
- Marie, M. L. (2012). *El café pergamino*. Recuperado el 5 de enero de 2013, de Shuqush : http://shuqush.com/joomla1.5/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=36&Itemid=61
- Mejia, M. (2010). *secaderos solares para cafe*.
- Milan, G. L. (2004). *Cadena Agroindustrial Cafe*. Nicaragua.
- Montero , I. (2005). *Modelado y Construcción de un secadero solar hibrido para residuos biomasicos*. Bajadoz-España .
- Moran, M. J., & Shapiro, H. N. (2004). *Fundamentos de termodinámica técnica*. Barcelona España: Reverte.
- Montilla Perez, J., Pulgarin, J., & Aristizabal, M. (2008). *Propiedades Fisicas y factores de Conversion del Cafe en el Proceso de Beneficio*.Cenicafe.
- Mujumdar, A. (2000). *Drying technology in Agriculture and Food Sciences*. NH USA: science Publishers.
- Mwithiga, G., & Olwal, J. (2005). The drying kinethics of kale (brassica oleracia) in a convective hot air dryer. *Journal of food engineering Vol 71 no 4*, 373-378.
- Negi, P., & Roy, S. (2001). *Effect of drying conditions on quality of green leaves during long term storage*.Food Reearch international.
- Nieves Lahaba, Y., & Leon Santos , M. (2001). Propuesta de una herramienta diagnóstico para evaluar la comprensión de la Gestión. *ACIMED*, 121-186.
- Pait, S. (2002). *Estudio de necesidades de ampliación y mejoramiento de la oferta de Servicios de Desarrollo Empresarial (SDE)*.Managua, Nicaragua.
- Palaniappan, C., & Subrammanian, S. (1998). Economics of solar air pre-heating in south indian tea factories: a case study. *Solar Energy Vol 63 no 1*, 31-37.
- PRODECOOP. (2011). *Laboratorio de control de calidad*.
- Rivas, C. (2008). *Cafe en Nicaragua*.
- Rivero Rodrigo, S. (2009). *Guia de Gestion del Conocimiento para PYMES*. Madrid (España): Atlantida Grupo Editor.

- Rodríguez , C. (Mayo de 2003). *Estrategia para Gerenciar la aplicación de las técnicas de la administración en la cadena de suministros en CVG BAUXILUM-MINA*. Recuperado el 07 de Junio de 2012, de oocities.org: <http://www.oocities.org/es/cibercero/sdi/sid.htm>
- Rodríguez Gomez, D. (2006). Modelos para la creación y gestión del conocimiento: una aproximación teórica. *Educación*, 25-39.
- Sáiz Barcena Lourdes, Lara Palma Ana Maria, & Gonzáles Dieste María Rosario. (2005). La gestión del conocimiento en PYMES de servicios artesanales. El caso de las empresas de aplicación de pinturas. Gijón: IX congreso de ingeniería de organización.
- Sánchez Muñoz, M. (2007). *La gestión del conocimiento en las PYMES*. Madrid: Recomendaciones de la Unión Europea .
- Tarí Guillo , J., & García Fernández , M. (2009). Dimensiones de la gestión del conocimiento y de la gestión de la calidad: una revisión de la literatura. *Investigaciones Europeas de Dirección y economía de la Empresa*, Vol.15, No 3, 134-148.
- Tiris, C., Tiris, M., & Dincer, I. (1996). Energy efficiency of a solar drying sistem. *International Journal of Energy Research* Vol 20 no 9, 767-770.
- Tiwari, G. (2002). *Solar Energy. FUndamentals, Design, Modelling and Aplication*. New Delhi-India: Alpha Science International LTD.
- Torrez , M., Paz, K., & Salazar, F. G. (n.f). *Métodos de recolección de datos para una investigación*. Recuperado el 08 de Junio de 2012, de http://www.tec.url.edu.gt: http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_03_BAS01.pdf
- Urbina , T., & Cordero , E. (2011). *Deshidratador solar para frutas y hortalizas* . Matagalpa.
- Urioste, C. (2008). *El sol fuente de energía y vida*.
- Valencia Rodríguez , M. (2009). *Modelo para la creación del conocimiento para Pymes*. Cali, Colombia: Unilibre Cali.
- Valencia Rodríguez, M. (2009). *Modelo para la creación del conocimiento para Pymes*. Cali, Colombia: Unilibre Cali.
- Valencia-Aristizabal, G. (2010). *FISIOLOGÍA, NUTRICIÓN Y FERTILIZACIÓN DEL CAFETO*.
- Van Der Kamp, R. (2006). *Pymes, Competitividad y SDE en Nicaragua*. Managua: NITLAPAN UCA.

ANEXOS

Anexo 1

Glosario

Beneficio: consiste en someter a la cereza de café madura en una serie de operaciones para obtener el café verde, materia prima para el proceso de torrefacción.

Café: es una semilla procedente del árbol cafeto, perteneciente a la familia de las rubiáceas y al género Coffea.

Café Cereza: es la baya del café tal cual ha sido recolectado del árbol cuando ya ha alcanzado su adecuado grado de maduración.

Café pergamino: grano de café envuelto en el endocarpio (pergamino) obtenido después de la etapa de secado en el proceso de beneficio.

Café pergamino primera: Es el grano de café procedente de frutos maduros, bien despulpados, con fermentación adecuada, lavado, de coloración blanco gris o amarillo claro, no contaminado y de color característico.

Café pergamino segunda: Es el grano de café procedente en su mayoría de frutos maduros, mal procesados, de coloración amarillo claro a gris no uniforme, con olor a moho con ligera sobre fermentación y daños físicos (mordidos, pelados etc.)

Café broza de pergamino: Es el grano de café obtenido de todos los frutos mal formados, dañados, mal despulpados, con fermentación de coloración variable, con mezcla de diferentes cafés y su gama.

Café Semitostado: café con cierto grado de tostión (entre verde y tostado), para eliminar posibles microorganismos [presentes inicialmente, que pueden afectar las propiedades del mismo y del producto final. Producto considerado materia prima al no estar listo para su consumo.

Café verde: es el resultado de someter la cereza de café madura al beneficio, retirando el exocarpio, el mesocarpio y por medio del proceso de trillado el pergamino quedando así únicamente la almendra.

Contrapartida: Intercambio de una cosa contra otra, especialmente el abandono de un beneficio o una ventaja por otra considerada más deseable.

Calor: Fenómeno físico que aumenta la temperatura de un cuerpo y lo dilata, funde, volatiliza o descompone.

Calor Específico: Cantidad de calor que absorbe un kilogramo de un cuerpo para que aumente su temperatura en un grado. Se denota con las siglas Cp.

Conducción: Propagación del calor cuando hay contacto directo entre el cuerpo caliente y el frío, o cuando entre ambos existe un medio material no interrumpido.

Convección: Forma de transferencia del calor en un fluido mediante el movimiento interno de masas del propio fluido que tienen distinta densidad; la transferencia de calor se produce porque las masas están a distinta temperatura.

Caudal: Es cantidad de materia expresada en unidades de volumen (litros, galones, m³, etc.), que pasa por un área específica en un determinado intervalo de tiempo; y se expresa en unidades de volumen por unidad de tiempo.

Densidad: Es la relación que existe entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa esa masa y se expresa en unidades de masa sobre volumen como por ejemplo: gr/ml (gramos por o sobre mililitros)

Flujo Másico: Es cantidad de materia expresada en unidades de masa (Kilogramos, gramos, libras toneladas, etc.), que pasa por un área específica en un determinado intervalo de tiempo; y se expresa en unidades de masa por unidad de tiempo.

Fluido: Un fluido es una sustancia que se deforma continuamente cuando se le aplica una fuerza tangencial (de lado), por más pequeña que esta sea.

Humedad relativa: Relación entre el vapor de agua que contiene el aire y la cantidad máxima que puede tener el aire saturado a la misma temperatura.

Pergamino: Es el endocarpio del fruto del café o envoltura celulósica del grano del café.

Rubro: es el conjunto de artículos de consumo de un mismo tipo o relacionados con una determinada actividad.

Temperatura: Es el grado de calor que posee un cuerpo y se expresa en unidades de temperatura como lo son: °C (grados Celsius, antes llamado grado centígrado). °F (grados Fahrenheit), °K (grados kelvin) y °R (grados rankine)

Presión: La presión es la fuerza superficial que ejerce un fluido sobre las paredes del recipiente que lo contiene. En cualquier punto del interior del fluido existe también una determinada presión.

Anexo 2

cronograma de actividades																	
Actividad	Sep.	Octubre				Noviembre				Diciembre			Enero				Feb
	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4	1
Elección y delimitación del tema	x																
Recopilación de información		x															
Elaboración de antecedentes			X														
Elaboración de Justificación			X														
Planteamiento del problema				x													
Planteamiento de objetivos				x													
Planteamiento de hipótesis					x												
Elaboración de marco teórico					x	x											
Elaboración de diseño metodológico							x	x	x								
Análisis y discusión de resultados									x	x							
Conclusiones											x						
Recomendaciones												x					
Bibliografía													x				
Anexos														x			
Pre Defensa de trabajo monográfico															x		
Defensa de trabajo monográfico																	x

Anexo 3

Entrevista

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA, Managua
FAREM- MATAGALPA



ENTREVISTA REALIZADA EN BENEFICIO SAJONIA S.A.

Dirigida a: _____

Entrevistador: _____

Fecha: _____ Lugar: _____

1. ¿Qué equipo emplean para medición de humedad del café?

2. ¿Qué porcentaje de humedad trae el café al ingresar al beneficio?

3. ¿Qué porcentaje de humedad debe poseer el café para ser almacenado?

4. ¿Cómo se clasifica el café que ingresa al beneficio?

5. ¿Las primeras, segundas, broza y cereza son enviadas a los mismos lugares para ser secadas?

6. ¿Qué porcentaje de humedad pierde el café en el secado?

7. ¿Con cuántas pilas de secado cuenta el beneficio?

8. ¿Cuánto mide el área de las pilas de secado?

9. ¿Cuál es la capacidad de las pilas de sacado?

10. ¿De cuánto es el espesor del café al ser tendido en las pilas y telones?

11. ¿A qué altura se ubican las cajillas de madera para secar café?

12. ¿Qué factores afectan el café en el proceso de secado?

13. ¿Se ha planteado otra alternativa para el proceso de secado de café?

14. ¿Cuánto personal interviene en el proceso de secado de café pergamino?

15. ¿Cuál es el salario promedio de los trabajadores que intervienen en el proceso de secado?

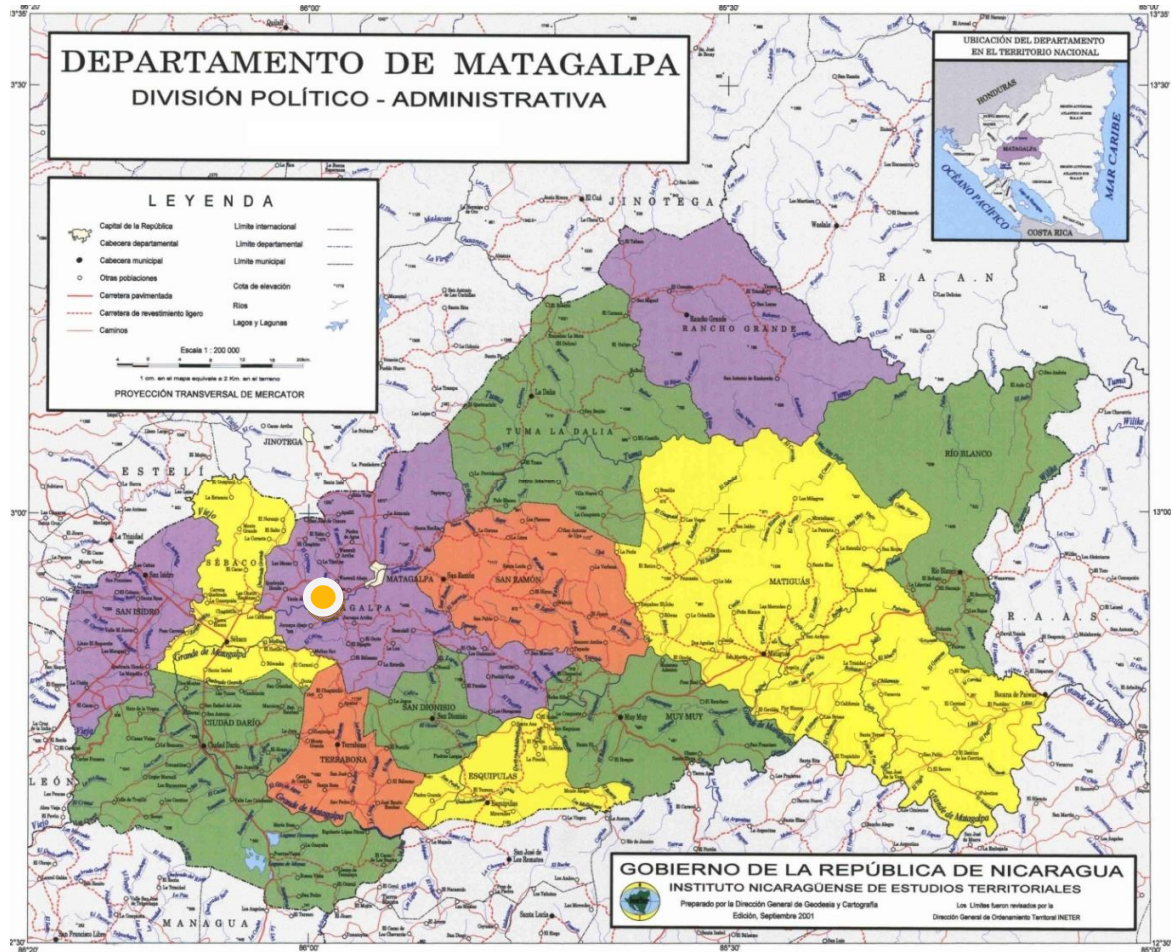
Anexo 4
Operacionalización de variables

Objetivos	Variables	Subvariable	Indicador	Instrumento
Valorar el proceso de secado de café pergamino en beneficio Sajonia S.A.	Proceso de secado de café pergamino	Recepción	Peso	Báscula
		Clasificación	%humedad	Higrómetro
		Análisis de control de calidad	% de imperfección	Análisis de calidad
		Secado al sol	%humedad	Higrómetro
		Almacenamiento	%humedad	Higrómetro
			% de imperfección	Análisis de calidad
Determinar la influencia de diferentes parámetros en el proceso de secado	Parámetros del proceso de secado	Temperatura	Grados (°C)	Termómetro
		Humedad	Porcentaje (%)	Higrómetro
		Radiación solar	kWh/m ² /día	Software ReetScreen
		Espesor del producto	Centímetros (Cm)	Regla de medición
Proponer un sistema de secadero solar aplicado al proceso de secado de café pergamino en el beneficio Sajonia S.A.	Diseño del secadero solar	Dimensiones	Modelo del sistema	Planos del sistema
		Capacidad del secadero	Kilogramos (Kg)	Bascula
		Materiales	Aceros	Planos del sistema
			Madera	
		Costos	Dólares \$	Presupuesto

Anexo 5

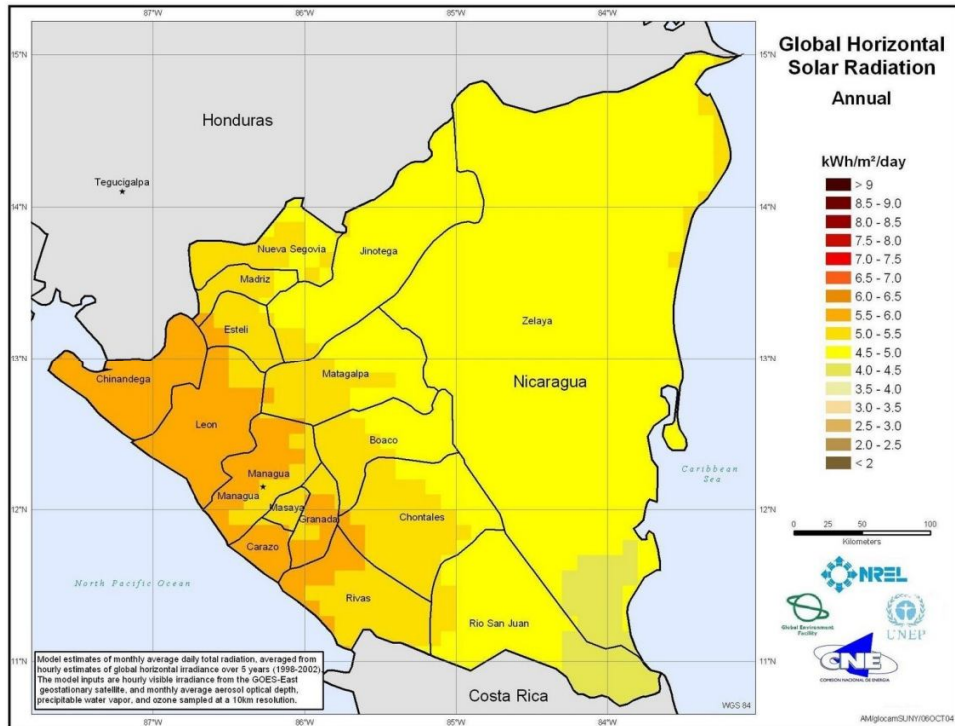
Presupuesto del prototipo de secadero solar			
Cantidad	Concepto	Costo unitario	Costo Total
2	Angular de 1/8 2"x 2.25m	\$15	\$30
2	Angular de 1/8 2"x2.40m	\$15	\$30
12	Angular de 1/16 2"x2.00m	\$4.16	\$50
12	Angular de 1/16 2"x1.5m	\$3.12	\$37
5	Malla acerada 2.0m x 1.5m	\$75	\$375
10	Alfajilla de 4m	\$6	\$60
2	Libra de clavo 4"	\$1	\$2
5	Tubo galvanizado 2"x 2.00m	\$10	\$50
10	Lámina de zinc liso 0.90m x 2m	\$12	\$120
4	Ventiladores 0.25m x 0.25m	\$85	\$340
1	Vidrio liso 2m x 1.5m	\$20	\$20
Sub-total			\$1114
Mano de obra			\$700
Total			\$1814
Tasa de cambio: 24.10			

Mapa político de la ciudad de Matagalpa



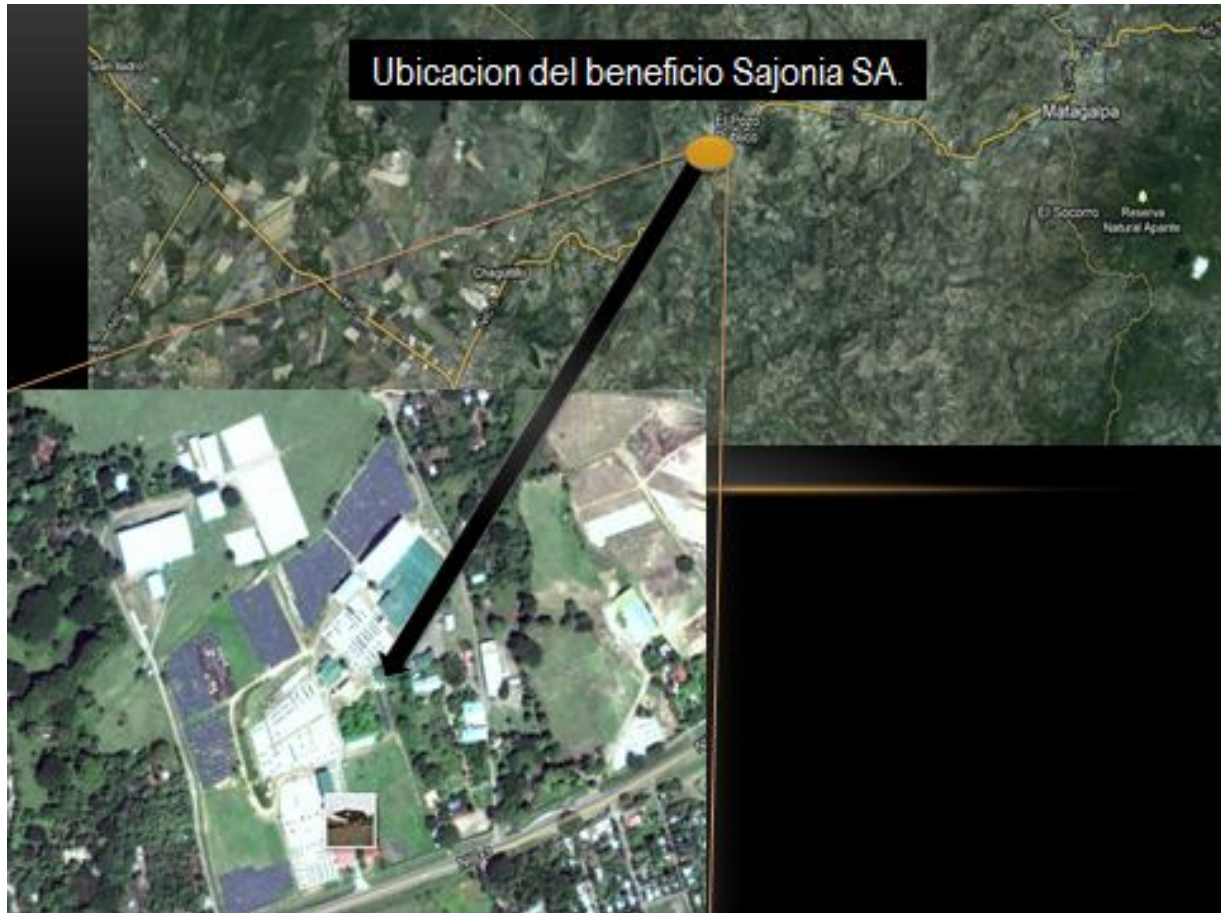
Anexo 7

Mapa de Radiación solar en Nicaragua



Anexo 8

Ubicación del beneficio Sajonia S.A.



Anexo 9

Prototipo de secadero solar para café

